



# Сельскохозяйственные МАШИНЫ и ТЕХНОЛОГИИ

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ АГРОИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ВИМ»

## НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Журнал зарегистрирован  
Федеральной службой по надзору  
в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций  
(РОСКОМНАДЗОР)  
Свидетельство ПИ № ФС77-68608  
от 3 февраля 2017 г.

Журнал включен в перечень изданий,  
рекомендованных ВАК РФ для публика-  
ции трудов соискателей ученых степе-  
ней кандидата и доктора наук

Журнал включен  
в Российский индекс  
научного цитирования (РИНЦ)

Полные тексты статей  
размещены на сайте электронной  
научной библиотеки: <http://elibrary.ru>

Охраняется законом РФ № 5351-1  
«Об авторском праве и смежных правах»  
от 9 июля 1993 года. Контент распростра-  
няется под лицензией Creative Commons  
Attribution 4.0 License. Нарушение закона  
будет преследоваться в судебном порядке.

НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ:  
В.В. Бижаяев,  
Л.А. Горелова,  
С.В. Гришуткина,  
Р.М. Нурбагандова

Перевод – Алексей Алипичев

АДРЕС РЕДАКЦИИ:  
109428, Москва,  
1-й Институтский проезд, 5  
Телефоны: (499) 174-88-11  
(499) 174-89-01

<http://www.vimsmit.com>  
e-mail: [smit@vim.ru](mailto:smit@vim.ru)

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2019

Отпечатано в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ  
Формат 205 x 290 мм  
Подписано в печать 30.08.2019  
Тираж 500 экз.

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

### Андрей Юрьевич Измайлов

доктор технических наук, академик Российской академии наук, член Президиума Российской академии наук, директор Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская Федерация

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

### Виктор Валентинович Альт

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации, академик НАН Монголии, руководитель научного направления Сибирского физи-ко-технического института аграрных проблем, г. Новосибирск, Российская Федерация

### Христо Иванов Белоев

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Болгарской академии наук, Русенский универси-тет, г. Русе, Республика Болгария

### Михаил Никитьевич Ерохин

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Москва, Рос-сийская Федерация

### Юрий Анатольевич Иванов

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Российской академии наук, директор Всероссий-ского научно-исследовательского института механизации животноводства, г. Подольск, Российская Феде-рация

### Йошисукэ Кишида

академик, Президент компании «Шин-Норинша», г. Токио, Япония

### Иван Михайлович Куликов

доктор экономических наук, профессор, академик Российской академии наук, директор Всероссийского се-лекционно-технологического института садоводства и питомниководства, Москва, Российская Федерация

### Юрий Федорович Лачуга

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

### Яков Петрович Лобачевский

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, первый заместитель директора Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская Федерация

### Антонин Махалек

доктор технических наук, директор Научно-исследовательского института сельскохозяйственной техники, г. Прага, Чешская Республика

### Тадеуш Павловски

доктор технических наук, профессор, директор Промышленного института сельскохозяйственной техники, г. Познань, Республика Польша

### Владимир Дмитриевич Попов

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, руководитель научного на-правления Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства, Санкт-Петербург, Российская Федерация

### Жарылкасын Сарсембекович Садыков

доктор технических наук, профессор, директор Научно-исследовательского института агроинженерных про-блем и новых технологий Казахского национального агроуниверситета, г. Алматы, Республика Казахстан

### Дмитрий Семенович Стребков

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

### Юлия Сергеевна Ценч

кандидат педагогических наук, доцент, начальник отдела образования, научно-технической информации и редакционно-издательской деятельности Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская Федерация

### Вячеслав Иванович Черноиванов

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

SCIENTIFIC-THEORETICAL  
JOURNAL

The journal is registered by  
Federal Agency for Supervision of  
Legislation Observance of Mass  
Communications Sphere and  
Cultural Heritage Protection  
Certificate ПИ No. ФС77-68608  
from February, 3, 2017

**The Journal is included in the  
list of peer-reviewed scientific  
publications recommended  
by the Higher Attestation  
Commission for publishing the  
research results from theses for  
Ph.D. and Dr.Sc. degrees.**

The journal is included in the  
Russian Index of Scientific Citation  
(RISC).

Full texts of articles are placed on  
the website of electronic library:  
elibrary.ru

Protected by the Russian Federal  
Law RF №5351-1 "On Copyright  
and Related Rights" dated July 9,  
1993. Content is distributed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
License. Violations are subject to  
prosecution.

**EXECUTIVE EDITORS:**

Bizhaev V.V.,  
Gorelova L.A.,  
Grishutkina S.V.,  
Nurbagandova R.M.  
Translation into English –  
Aleksy Alipichev

**EDITORIAL OFFICE'S ADDRESS**

109428, Moscow,  
1st Institutskiy proezd, 5  
Tel.: +7 (499) 174-88-11  
+7 (499) 174-89-01

<http://www.vimsmit.com>  
e-mail: [smit@vim.ru](mailto:smit@vim.ru)

**Printed by FSAC VIM**

**Russian Academy of Science**

The format is 205 × 290 mm

The issue was submitted 30.08.2019

The circulation is 500 copies

## [SEL'SKOKHOZYAYSTVENNYE MASHINY I TEKHNologii]

**Founder and publisher: Federal State Budgetary Scientific Institution  
"Federal Scientific Agroengineering Center VIM" of the Russian Academy of Sciences**

**EDITOR-IN-CHIEF**

**Andrey Yu. Izmaylov**

Dr.Sc.(Eng.), Member of the Russian Academy of Sciences, Academic Board Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**EDITORIAL BOARD**

**Viktor V. Al't**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Honoured Scientist of Russian Federation, Academician of NAS of Mongolia, Head of Scientific Division of Siberian Physical and Technical Institute of Agrarian Problems, Novosibirsk, Russian Federation

**Khristo I. Beloev**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member of the Bulgarian Academy of Sciences, University of Ruse, Republic of Bulgaria

**Mikhail N. Erokhin**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

**Yuriy A. Ivanov**

Dr.Sc.(Agr.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences; Director of the All-Russian Scientific and Research Institute of Livestock Mechanization, Podolsk, Russian Federation

**Yoshisuke Kishida**

Academician, President Shin-Norinsha Co., LTD, Tokyo, Japan

**Ivan M. Kulikov**

Dr.Sc.(Econ.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the All-Russian Horticultural Institute for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russian Federation

**Yuriy F. Lachuga**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Academician Secretary of Department of Agricultural Sciences at the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

**Yakov P. Lobachevskiy**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, First Deputy Director of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Antonin Makhalek**

Dr.Sc.(Eng.), Director of the Agricultural Machinery Research Institute, Prague, Czech Republic

**Tadeush Pavlovsky**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Director of the Industrial Institute of Agricultural Machines, Poznan, Poland

**Vladimir D. Popov**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Research Direction of the Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production, St.Peterburg, Russian Federation

**Zharylkasyn S. Sadykov**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Director of Research Institute of Agroengineering Problems and New Technologies, Kazakh National Agrarian University, Almaty, Republic of Kazakhstan

**Dmitriy S. Strebkov**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Yulia S. Tsench**

Ph.D.(Ed.), Associate Professor, Head of Publishing Activity, Education and Technical information Department of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Vyacheslav I. Chernovanov**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**АГРОБИОТЕХНОПАРК – 2019**

- Первый в России Агробiotехнопарк. . . . . 4**  
Перспективы научно-технологического  
комплекса «Агробiotехнопарк – ВИМ» . . . . . 7
- Федоренко В.Ф.**  
Тенденции биотехнологического развития сель-  
ского хозяйства . . . . . 8
- Завражных А.А., Измайлов А.Ю.,  
Завражных А.И., Лобачевский Я.П., Ланцев В.Ю.**  
Инновационные технологии и технические  
средства для промышленного  
питомниководства . . . . . 16
- Альт В.В., Савченко О.Ф., Елкин О.В.**  
Цифровая технология оценки мощности  
тракторного парка сельхозпредприятия . . . . . 25

**ЭКОЛОГИЯ**

- Брюханов А.Ю., Васильев Э.В.,  
Шалавина Е.В., Уваров Р.А.**  
Методы решения экологических проблем  
в животноводстве и птицеводстве . . . . . 32

**ПРЕДПОСЕВНАЯ ОБРАБОТКА СЕМЯН**

- Донгвей В., Цзяшэн В., Шуки Ш.**  
Конструктивно-экспериментальный расчет  
дозатора семян арахиса в селекционной сеялке. 38
- Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф.,  
Черников Р.В.**  
Пневматическая система дифференцирован-  
ного обмолота кукурузы . . . . . 42

**ТЕХНИКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ**

- Маматов Ф.М., Батиров З.Л., Халилов М.С.,  
Холияров Е.Б.**  
Трехъярусное внесение удобрений тукопрово-  
дом-распределителем глубокорыхлителя . . . . 48
- Хаджиев А.Х., Темиров С.У., Йулдашев О.К.,  
Курамбоев Б.Р.**  
Обоснование параметров усовершенствован-  
ного сошника для внесения минеральных и  
органоминеральных удобрений . . . . . 54

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ**

- Рудик Ф.Я., Бредихин С.А.**  
Повышение износостойкости и прочности  
на изгиб ножей к центробежным  
свеклорезкам . . . . . 58

**ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ**

- Зубрилина Е.М., Маркво И.А., Журавлев А.С.,  
Новиков В.И., Нерода Е.В.**  
Метод обобщенной оценки при выборе  
факторов и уровней их варьирования  
в многофакторном исследовании  
высевающих аппаратов . . . . . 65
- Чаплыгин М.Е., Жалнин Э.В.**  
Определение качества работы  
зерноуборочных комбайнов . . . . . 71

**AGROBIOTECHNOPARK – 2019**

- Russia's first Agrobiotechnopark. . . . . 4**  
Prospects of scientific and technological  
complex «Agrobiotechnopark – VIM» . . . . . 7
- Fedorenko V.F.**  
Trends in biotechnological development of  
agriculture . . . . . 8
- Zavrazhnov A.A., Izmaylov A.Yu., Zavrazhnov A.I.,  
Lobachevskiy Ya.P., Lantsev V.Yu.**  
Innovative technologies and technical means  
for industrial nursery farming . . . . . 16
- Alt V.V., Savchenko O.F., Elkin O.V.**  
Digital technology of assesment the power  
capacity of tractor fleet of an agricultural  
enterprise . . . . . 25

**ECOLOGY**

- Bryukhanov A.Yu., Vasilev E.V.,  
Shalavina E.V., Uvarov R.A.**  
Methods for solving environmental problems  
in animal and poultry farming . . . . . 32

**PRESOWING TREATMENT OF SEEDS**

- Dongwei W., Jiasheng W., Shuqi S.**  
Design and experimental study on seed  
metering device of peanut plot seeder. . . . . 38
- Pastukhov A.G., Bakharev D.N., Volvak S.F.,  
Chernikov R.V.**  
Pneumatic system of variable-force  
corn threshing . . . . . 42

**MACHINERY FOR SOIL CULTIVATION**

- Mamatov F.M., Batirov Z.L., Khalilov M.S.,  
Kholiyarov J.B.**  
Three-tiered fertilizer application with  
a spreading funnel of a subsoil tiller . . . . . 48
- Khadzhiev A.Kh., Temirov S.U.,  
Yuldashev O.K., Kuramboev B.R.**  
Determination of the parameters of improved  
coulters for introducing mineral and  
organic-and-mineral fertilizers . . . . . 54

**NEW MACHINERY AND TECHNOLOGIES**

- Rudik F.Ya., Bredikhin S.A.**  
Improving the wear resistance and bending  
strength of knives used in centrifugal beet  
cutters . . . . . 58

**PROBLEMS AND DECISIONS**

- Zubrilina E.M., Markvo I.A., Zhuravlev A.S.,  
Neroda E.V., Novikov V.I.**  
Method of generalized evaluation  
in the selecting factors and levels  
of variation in the multifactorial study  
of sowing machines . . . . . 65
- Chaplygin M.E., Zhalnin E.V.**  
Determining the performance quality of  
combine harvesters operating . . . . . 71



## ПЕРВЫЙ В РОССИИ АГРОБИОТЕХНОПАРК

**19 июля 2019 года в рамках сельскохозяйственного форума «День поля Рязанской области-2019» при поддержке Минобрнауки РФ, правительства Рязанской области, Российской академии наук и Федерального научного агроинженерного центра ВИМ открыт первый в стране Агробιοтехнопарк.**

Агробιοтехнопарк – пилотный проект Федерального значения, который формируется в рамках национального проекта «Наука».

Инициаторами создания первого в России Агробιοтехнопарка выступили Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, администрация Рязанской области и Федеральный центр ВИМ. Создание Агробιοтехнопарка поддержали Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации и Российская академия наук.

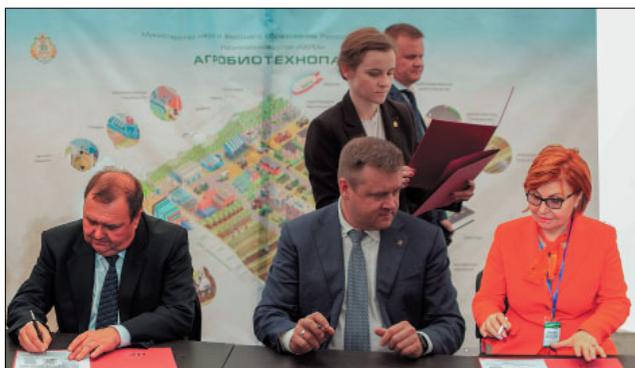
Основная цель презентации – формирование состава участников Агробιοтехнопарка, обсуждение предложений о функционировании его отдельных кластеров, обмен мнениями о совместных прорывных научно-технических и производственных проектах.

*Открыли форум:* губернатор Рязанской области

Николай Викторович Любимов, директор Департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации член-корреспондент РАН Вугар Алиевич Багиров, директор Федерального центра ВИМ, академик РАН, член президиума РАН Андрей Юрьевич Измайлов, академик-секретарь отделения сельскохозяйственных наук РАН, академик РАН, член президиума РАН Юрий Федорович Лачуга, ректор Московского государственного университета пищевых технологий и управления имени К.Г. Разумовского Валентина Николаевна Иванова.

В форуме приняли участие представители Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, администрации Рязанской области, академики и члены-корреспонденты РАН, руководители и представители образовательных и научных учреждений, производственных и сельскохозяйственных предприятий, зарубежных компаний.





В экспозиции Агробιοтехнопарка были представлены новейшие научно-технические достижения Федерального центра ВИМ, разработки, выполненные при научно-техническом и производственном сотрудничестве с партнерами – предприятиями воздушно-космического комплекса, машиностроительной, оборонной и электронной промышленности.

Участники мероприятия познакомились с инновационными разработками в области цифровых технологий; роботизации и автоматизации наземных и воздушных технических средств; новым оборудованием и машинами для растениеводства, животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции; приборами и оборудованием для биотехнологий и энергетического обеспечения агропромышленного комплекса, технологиями для переработки и утилизации отходов. В экспозиции представлены инновационные комплексы технических средств для селекции и семеноводства; возделывания и переработки картофеля, производства плодов и овощей; машины и рабочие органы для обработки почвы, восстановления и мелиорации земель; оборудование для диагностики двигателей и упрочнения деталей машин; летательные аппараты для мониторинга угодий, точного внесения химических препаратов и многие другие инновационные технические средства.

На полевой экспозиции Агробιοтехнопарка участники и гости форума познакомились с демонстрационными посевами высокопродуктивных сельскохозяйственных культур.

*Во время деловой программы состоялось подписание соглашений:* О научно-технологическом партнерстве в рамках Агробιοтехнопарка между Адми-



нистрацией Рязанской области, Федеральным центром ВИМ и Московским государственным университетом пищевых технологий и управления им. К.Г. Разумовского; несколько соглашений между Федеральным центром ВИМ и индустриальными партнерами.

В рамках деловой программы прошла конференция, в которой приняли участие более 120 ученых и специалистов, сделано более 40 докладов и сообщений.

Особое внимание докладчиков было уделено разработке и использованию цифровых технологий, вопросам создания автоматизированных и роботизированных технических средств для растениеводства и животноводства, инновационным технологиям селекции и семеноводства, глубокой переработки сельскохозяйственной продукции, экологическим проблемам.

Участники деловой программы выразили готовность представить свои предложения по формированию приоритетных научно-технологических и производственных проектов в рамках Агробιοтехнопарка и активно участвовать в их реализации этих проектов.

Федеральный центр ВИМ выражает признательность руководству Рязанской области, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации, Российской академии наук за поддержку инициативы создания первого в стране Агробιοтехнопарка и участие в его открытии.

*Выражаем признательность всем участникам и гостям форума.*





В открытии форума приняли участие губернатор Рязанской области Н.В. Любимов, директор департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Министерства науки и высшего образования РФ Вугар Алиевич Багиров, директор ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» академик Андрей Юрьевич Измайлов, член президиума РАН, академик Юрий Федорович Лачуга, ректор Московского государственного университета технологий и управления имени К.Г. Разумовского Валентина Николаевна Иванова, представители Минсельхоза РФ, руководитель временной комиссии Совета Федерации РФ по вопросам законодательного обеспечения развития технико-технической базы АПК России, заместитель председателя комитета Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию Сергей Герасимович Митин прислал приветственный адрес

Губернатор Рязанской области Николай Викторович Любимов отметил: «Президентом России Владимиром Путиным поставлены серьезные задачи по укреплению агропромышленного комплекса. И большие возможности для этого открывает реализация национальных проектов. Мы стремимся максимально участвовать в них. У региона есть хорошая научная база, современные перспективные предприятия, грамотные специалисты. А главное – стремление к эффективной и качественной работе». «Проект Агробιοтехнопарка очень важен для Рязанской области, – продолжил Николай Любимов. – Создание кластера позволит совершить прорыв в сельскохозяйственном производстве. На базе парка будут проводиться передовые российские исследования и разработки: мы будем развивать новые технологии в растениеводстве, молочном животноводстве. Впоследствии они будут тиражироваться на всю страну. Это большая комплексная работа».

Знаковым событием назвал открытие Агробιοтехнопарка директор департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Минобрнауки РФ Вугар Алиевич Багиров: «Уверен, что именно на Рязанской земле нам удастся совместно с руководством региона, Министерством сельского хозяйства РФ, агробизнесом создать самый удачный Агробιοтехнопарк».

Член президиума РАН, академик Юрий Федорович Лачуга выразил уверенность, что стартовавший проект позволит выполнить поручения и стратегические задачи Президента РФ: «Россия должна стать твердой экспортной державой. К 2024 году мы должны экспортировать только сельскохозяйственной про-

дукции на сумму 45 миллиардов долларов, производить не менее 32 миллионов тонн пшеницы. Это вполне по силам нашим регионам. В Рязанской области возделываются прекрасные сорта зерновых культур. Нужно продолжать завоевывать зарубежные рынки, увеличивая качество отечественной продукции».

Главная цель Агробιοтехнопарка, созданного на базе Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, – трансфер научных исследований и разработок в российское сельскохозяйственное производство.

Планируется, что на территории парка появятся объекты промышленного производства, модульные фермы и хозяйства, в том числе цифровая молочная ферма и «умные» теплицы, лабораторные комплексы, сертификационный центр, опытные полигоны для проведения испытаний техники.

Работа инновационной площадки станет результатом тесного взаимодействия разных сторон: научно-исследовательского сектора, промышленных предприятий, органов государственной власти. Как подчеркнул директор Федерального научного агроинженерного центра ВИМ академик Андрей Юрьевич Измайлов, у Агробιοтехнопарка огромные перспективы: «Через год-два здесь будет построен целый городок, где будут испытывать технику, работать селекционеры, будет сосредоточена вся наша тематика сельскохозяйственного плана – не только в Рязанской области, но и во всем Центральном федеральном округе».

«Большое спасибо рязанцам, которые нас поддержали, – обратился к партнерам директор ФНАЦ ВИМ. – Мы с вами сделаем такой прорыв, которого еще не было в Российской Федерации».



## Перспективы научно-технологического комплекса «Агробιοтехнопарк – ВИМ»

**Яков Петрович Лобачевский**, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, первый заместитель директора Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, рассказал о перспективах развития кластера, уделив особое внимание теме искусственного интеллекта (ИИ): «Мировое сельское хозяйство на пороге новой зеленой революции. По прогнозу Еврокомиссии по сельскому хозяйству, применение цифровых технологий, ИИ, системы «Интернет вещей» позволит к 2050 году увеличить производительность труда вдвое, а урожайность культур в несколько раз.

Президент России В.В. Путин в послании Федеральному собранию подчеркнул, что страны, которые займут ведущие позиции в сфере ИИ, получат глобальное мировое лидерство, в середине следующего десятилетия мы должны войти в их число, и это будет определять будущее России и мира. Объединение научных и образовательных институтов, университетов, промышленных предприятий, ученых, конструкторов, программистов и производственников позволит решить первостепенную задачу – создание суперсовременных роботизированных технологических процессов и технических средств на основе ИИ и цифровых технологий, которые обеспечат прорыв в развитии в ближайшие 5-10 лет. Премьер-министр Д.А. Медведев поручил Министерству науки и высшего образования, вкуче с другими, подготовить национальную стратегию развития ИИ.

Указом Президента РФ был утвержден национальный проект «Наука», призванный обеспечить присутствие России в пятерке стран, лидирующих в приоритетных областях научно-технологического развития. Для его реализации необходимо создавать в стране привлекательные условия работы для российских и зарубежных ведущих ученых и молодых исследователей. Нужно опережающее (по сравнению с ростом ВВП) увеличение внутренних затрат за счет всех источников на научные исследования и разработки.

*В свете выдвинутых нацпроектных целей перед Министерством сельского хозяйства стоит ряд задач:*

- создание не менее 15 научно-образовательных центров мирового уровня (в т.ч. сеть международных математических и геномных центров) через интеграцию университетов, научных и производственных организаций;
- организация не менее 35 селекционных (семеноводческих и племенных) центров по созданию и внедрению современных технологий в АПК;
- строительство 5 агробιοтехнопарков (прибыль от каждого не менее 1 млрд руб. в год).

Рязанский Агробιοтехнопарк – совокупность крупных комплексных мультидисциплинарных проектов,

направленных на получение прорывных научно-технических результатов и их скорейшее внедрение в АПК. Проекты из любой области должны отвечать общим требованиям: прорывные направления, комплексность, мультидисциплинарность, использование ИИ, цифровых технологий, широкое применение электронизации, автоматизации и роботизации. Участниками могут стать самые разноплановые ученые и специалисты. Мы ждем от кластера высокой экономической прибыли.

В Агробιοтехнопарке планируется создание современных новейших беспилотных энергетических систем с компактными накопителями энергии, электроникой, робототехникой, мехатроникой. Проект по животноводству предполагает интегральный подход: разработку системы мониторинга перемещения животных по пастбищам, контактную и бесконтактную диагностику и контроль состояния скота, автоматизацию и роботизацию всех процессов: доения, охлаждения и переработки молока, кормления, поения, уборки и утилизации навоза, поддержание оптимального микроклимата в помещениях.

Многого ждем от проекта перспективных высокобелковых культур, включающего их селекцию, семеноводство, возделывание, уборку, послеуборочную доработку и глубокую переработку. Рязанский филиал ВИМ – самая северная точка в стране, где успешно ведется селекция и семеноводство сои. Мы согласовываем с Рязанской областью проект по глубокой переработке сои. Перспективным представляется проект энергоавтономного сельскохозяйственного предприятия и сельского социума, использующий все природные виды энергии, в том числе энергию от переработки отходов.

Мы надеемся, что объединение на базе Агробιοтехнопарка научно-технического, производственного и управленческого потенциала, эффективное партнерство с бизнесом позволят реализовать поставленные Правительством и временем цели – быстро, надежно и эффективно».



## Тенденции биотехнологического развития сельского хозяйства

**Вячеслав Филиппович Федоренко,**

доктор технических наук, профессор,  
академик РАН, научный руководитель,  
e-mail: fedorenko@rosinformagrotech.ru

Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, пос. Правдинский, Пушкинский район, Московская область, Российская Федерация

**Реферат.** Современные стратегии биотехнологического развития радикально изменяют не только производственные процессы в сельском хозяйстве, но и требования к формированию аграрной инфраструктуры, концепции развития сельских территорий. В начале 2000-х годов приоритетными были строительство дорог, водопровода, газификация, постоянное электроснабжение. Сейчас жизненно необходимы устойчивая мобильная связь, скоростной интернет, интернет вещей, цифровые технологии, роботизация, точное земледелие и так далее. Только в этом случае сельскохозяйственное производство проявляет максимальный синергетический эффект. *(Цель исследования)* Оценить и обосновать наиболее оптимальные механизмы и инструменты по развитию и реализации биотехнологического потенциала сельского хозяйства, разработать предложения по консолидации усилий государства и аграрного бизнеса по трансформированию страны в ведущую агропродовольственную державу. *(Материалы и методы)* Провели анализ тенденций биологического и технологического развития сельского хозяйства в современных условиях. Оценили эффективность процессов, обеспечивающих обоснованность и рациональность реализации в производство инновационных, наилучших доступных, аддитивных, цифровых и других технологий. *(Результаты и обсуждение)* Определили, что в последнее время наиболее популярны и востребованы технологии, направленные на достижение максимального синергетического эффекта от имеющихся в распоряжении сельхозтоваропроизводителя природно-биологических ресурсов: земли, агроландшафтов, почвенных биоценозов, воды, генетического потенциала продуктивности – растений, скота, птицы, объектов аквакультуры, других культивируемых живых организмов, при соблюдении экологического законодательства и сохранении окружающей природной среды. *(Выводы)* Установили, что современные векторы биотехнологического развития радикально меняют не только производственные процессы в сельском хозяйстве, но и требования к формированию аграрной инфраструктуры, концепцию развития сельских территорий. В настоящее время наиболее перспективными, популярными и востребованными стали четыре основные стратегии, базирующиеся на парадигме максимально эффективного использования имеющегося агробиотехнологического потенциала.

**Ключевые слова:** биотехнологии, цифровые технологии, наилучшие доступные технологии, робототехника, интернет вещей, точное земледелие, генетические ресурсы.

**Для цитирования:** Федоренко В.Ф. Тенденции биотехнологического развития сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №4. С. 8-15. DOI 10.22314.2073-7599-2019-13-4-8-15.

## Trends in Biotechnological Development of Agriculture

**Vyacheslav F. Fedorenko,**

Dr.Sc.(Eng.), professor, member of RAS,  
scientific supervisor,  
e-mail: fedorenko@rosinformagrotech.ru

Russian Research Institute of Information and Feasibility Study on Engineering Support of Agribusiness, Pravdinskiy, Pushkino District, Moscow Region, Russian Federation

**Abstract.** Modern strategies of biotechnological development are expected to dramatically change not only production processes in agriculture, but the requirements to agricultural infrastructure, and the development strategy of rural territories as well. In the early 2000s, the construction of roads and water pipelines, gasification, sustainable supply of electricity were among the main priorities. But current vital needs include sustainable mobile communication, high-speed Internet, Internet of things, digital technologies,



robotics, smart farming etc. Only in this case agricultural production may experience maximum synergetic impact. (*Research purpose*) Evaluation and determination of the most optimal mechanisms and tools for the development and implementation of the biotechnological capacity of agriculture, working out proposals for consolidating the efforts of the government and agribusiness to transform the country into a leading agricultural and food power. (*Materials and methods*) The author analyzed agricultural development trends in modern conditions; evaluated the effectiveness of the processes determining the validity and reasonability of the implementation of innovative, best available, additive, digital, and other technologies in the production process. (*Results and discussions*) It has been determined that, in recent years, the most popular and sought-after are the technologies, which have ensured the achievement of the maximum synergistic effect from natural and biological resources utilized by agricultural producers, farmers and agricultural holdings. These include land, agricultural landscapes, soil biocenoses, water, and genetic productivity resources, i.e. plants, livestock, poultry, aquaculture objects, and other cultivated living organisms used by people, while observing the environmental law and preserving natural environment. (*Conclusions*) It has been established that modern vectors of biotechnological development radically change not only agricultural production processes, but also the requirements for agricultural infrastructure and the concept of rural area development. Currently, the four main strategies based on the paradigm of maximized utilization of the existing agrobiotechnological resources are considered to be the most vital, sustainable, and promising ones.

**Keywords:** biotechnologies, digital technology, best available technology, robotics, Internet of things (IoT), precision farming, genetic resources.

■ **For citation:** Fedorenko V.F. Tendentsii biotekhnologicheskogo razvitiya sel'skogo khozyaistva [Trends in biotechnological development of agriculture]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 8-15 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-8-15.

**С**овременные стратегии биотехнологического развития радикально изменяют не только производственные процессы в сельском хозяйстве, но и требования к формированию аграрной инфраструктуры, концепции развития сельских территорий. В начале 2000-х годов приоритетными были строительство дорог, водопровода, газификация, постоянное электроснабжение. Сейчас жизненно необходимы устойчивая мобильная связь, скоростной интернет, интернет вещей, цифровые технологии, роботизация, точное земледелие и т.д. Только в этом случае сельскохозяйственное производство получает максимальный синергетический эффект.

**Цель исследования** – оценить и обосновать наиболее оптимальные механизмы и инструменты по развитию и реализации биотехнологического потенциала сельского хозяйства, разработать предложения по консолидации усилий государства и аграрного бизнеса по трансформированию страны в ведущую агропродовольственную державу.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Провели анализ тенденций биологического и технологического развития сельского хозяйства в современных условиях. Оценили эффективность процессов, определяющих обоснованность и рациональность реализации в производство инновационных, наилучших доступных, аддитивных, цифровых и других технологий.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** На основании анализа состояния и развития социально-экономических, политических, технологических предпосылок, природно-климатических, кадровых, интеллектуальных и других ресурсов целесообразно и правомерно рассматривать четыре метода ведения сельского хозяй-

ства по уровню трудозатрат и производительности труда (*рис. 1*) [1-18].

В последние годы интенсивность биотехнологического развития аграрного сектора экономики во многом определяется оперативностью и эффективностью научно-информационного обеспечения, реализацией в аграрном производстве инновационных решений, прежде всего информационных, цифровых технологий, интернета вещей и других векторов научно-технического прогресса. При этом важно получить максимальную эффективную прибыльность от имеющихся ресурсов: земли, созданного генетического потенциала растений, скота, птицы и др. [2-6, 10-14].

Стимулы и механизмы, обеспечивающие реализацию такой стратегии биотехнологического развития сельского хозяйства направлены на:

- обеспечение оптимальных условий для максимальной реализации созданного генетического потенциала продуктивности: растений, садов, скота, птицы, объектов аквакультуры и других живых организмов, культивируемых человеком;
- повышение компетентности, производительности труда и эффективности сельскохозяйственного производства;
- формирование рынка продуктов собственного АПК и прежде всего органических овощей, фруктов, зерна, а также средств производства – семян, пород животных, средств защиты растений, техники (*рис. 2*) [3-6, 15-18].

В последнее десятилетие за рубежом и в нашей стране активно реализуется вектор стратегического развития «Сельское хозяйство-4.0». В качестве при-



Рис. 1. Методы ведения сельского хозяйства  
Fig. 1: Agricultural practices

меров его реализации можно привести: систему защиты посевов (*Connected Crop Protection*) и контроля применения химических веществ (*Chemical Application Manage*). Например, фермер осуществляет загрузку в учетную запись сервиса на *MyJohnDeere* карты своих полей, в том числе почвенных, продукционных. Исходя из данных о хозяйстве ему предлагается список препаратов, рекомендуемых для защиты растений, производится расчет оптимальных доз их внесения. Информация заносится в бортовой компьютер трактора, затем настройки передаются разбрасывателю. Программа обработки данных поля создана с учетом экологических требований (например, буферных зон, определенных законодательством). Еще одним примером служит система контроля питательных веществ (*Connected Nutrient Management*), которая автоматически проводит анализ содержания *NPK* в жидких органических удобрениях и позволяет в режиме реального времени распределять вещества в соответствии с потребностями участка, периодом вегетации растений, анализа истории урожая. В результате обеспечивается оптимальный баланс питательных веществ в почве. Удобрения используются более эффективно, сокращаются расходы, повышаются качественные и количественные показатели урожайности [2-6, 11-14].

Подобные интеллектуальные системы объединяют знания и инструменты, необходимые пользователям при выборе способа обработки посевов, а также передают данные в универсальном открытом формате *ISO-XML*, позволяющем встраивать их в систему дополнительных приложений, облачных серверов и др.

Крупные корпорации – компании *John Deere*, *Claas* и другие – выступают не только как производители сельхозтехники, но и как поставщики определенного сервиса или интеграторы, объединяющие различные машины, программные продукты для эффектив-

ного ведения сельского хозяйства. Фермеры просто выбирают фуллайнера, с которым можно вести агробизнес и под его сервисную платформу подбирают свой машинно-тракторный парк, программное и сервисное обеспечение.

Все это способствует не только повышению эффективности сельскохозяйственного производства, но и решению проблем нехватки квалифицированных кадров, так как требования к квалификации работников и специалистов в сельском хозяйстве постоянно растут. Фермер уже не может быть универсалом. Он вынужден специализироваться, сосредотачиваться на одной, двух, максимум – трех областях знаний в ущерб другим. Такие сервисы, как *MyJohnDeere* или *365Farmnet*, автоматизируют процессы принятия решений, оказывают консультационную поддержку, позволяют фермерам, прежде всего начинающим, работать наиболее эффективно [2-6, 10-16].

Аналогичные исследования и разработки активно ведутся российскими научными коллективами ФНАЦ ВИМ, Росинформагротех, ООО «Агроноут» и других научных учреждений и аграрных университетов.

Второй стратегический вектор биотехнологического развития сельского хозяйства страны обусловлен принятием Федерального закона «Об охране окружающей среды» № 219-ФЗ от 21 июля 2014 г. и внедрением экологического нормирования на принципах наилучших доступных технологий (НДТ). Подобная стратегия реализуется в США и странах ЕС с 2000-х годов и ориентирована на внедрение технологий производства продукции (товаров), выполнение работ, оказание услуг, определяемых на основе современных достижений науки, техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности их применения [5, 16-18].

В сельском хозяйстве переход на принципы НДТ позволяет:

- обеспечить экологически ориентированную мо-



Рис. 2. Стимулы и механизмы биотехнологического развития сельского хозяйства  
 Fig. 2: Incentives and mechanisms for biotechnological development of agriculture

дернизацию приоритетных отраслей и рост эффективности АПК;

- сохранить благоприятную окружающую среду, биологическое разнообразие и природные ресурсы для удовлетворения потребностей нынешнего и будущего поколений;
- реализовать права каждого человека на благоприятную окружающую среду, укрепление правопорядка в области охраны окружающей среды;
- обеспечить импортозамещение и экологическую безопасность.

Информационно-технические справочники по НДТ по отраслям АПК разработаны подведомственными Минсельхозу России аграрными образовательными учреждениями: ВО «Донской ГАУ», ВО «Саратовский ГАУ», ВПО «Кубанский ГАУ», ВО «Вологодская ГМХА» и утверждены приказами Госстандарта в ноябре-декабре 2018 г. (таблица).

При этом в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 июня 2017 г. № 1299-р предусматривается актуализация отдельных позиций и дополнение перечня основного технологического оборудования, эксплуатируемого в случае применения НДТ, позициями, соответствующими информационно-техническим справочникам.

Третий стратегический вектор биотехнологического развития сельского хозяйства можно сформулировать как одно из направлений цифровой экономики.

По нашему мнению, суть цифровизации сельского хозяйства как понятие наиболее адекватно может быть сформулирована следующим образом: модель экономического поведения участников аграрного бизнеса, базирующегося на рыночных отношениях свободного производства, распределения, обмена, потребления товаров и услуг по определенным правилам с использованием ГЛОНАСС/GPS навигации, мобильной связи, интернета, новых материалов, информаци-

онных, цифровых, сквозных и других инновационных технологий.

При этом целесообразно особое внимание научного и экспертного сообщества обратить на ускоренное внедрение в производство следующих новых технологий и инфраструктурных систем [1-9, 11-14]:

- систем точного позиционирования на базе ГЛОНАСС/GPS;
- технологий виртуальной и дополненной реальности;
- технологий полной локальной утилизации, рециклинга отходов сельскохозяйственного производства, рыбного хозяйства, пищевой промышленности, конвергентных технологий умной биоэнергетики (включая биотопливо из сельхозотходов);
- технологий производства персонализированного, функционального питания нового поколения, производства синтетических продуктов питания;
- технологий распределенной обработки с использованием облачных сервисов огромных объемов информации и данных (большие данные);
- интернета вещей – технологии связи и передачи информации по интернету непосредственно между машинами, оборудованием, приборами и др.;
- систем искусственного интеллекта, робототехники, сенсорики для выполнения рутинных операций, работ (функций водителей, трактористов, комбайнеров и др.);
- нейротехнологий и искусственного интеллекта – технологий изучения деятельности мозга живых организмов и имитации их мозговой, рефлекторной деятельности;
- блокчейна – технологий, систем распределенного реестра – обработки поступающей информации по блокам, кодирования (хеширования), что не позволяет подменить или скорректировать сохраненную информацию;

Таблица		Table		
ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СПРАВОЧНИКИ ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ INFORMATION TECHNOLOGY GUIDES TO BEST AVAILABLE TECHNOLOGIES				
Отрасли <sup>1</sup> Branches <sup>1</sup>	Справочники <sup>2</sup> Reference books <sup>2</sup>	Ответственные департаменты и разработчики <sup>3</sup> Responsible departments and developers <sup>3</sup>	Код справочника НДТ, дата и номер приказа Росстандарта BAT reference code, date and number of Rosstandart order	Количество оборудо- вания в Перечне по каждому справочни- ку НДТ, ед. Amount of equipment in the List for each BAT reference book, units
Разведение свиней, сельскохозяйственной птицы Hog and poultry breeding	интенсивное разведение свиней intensive hog breeding	Депживотноводство, «Донской ГАУ» Department of Livestock Breeding, Don State Agrarian University	ИТС-41-2017 от 13 декабря 2017 г. № 2819 ИТС-41-2017 of December 13, 2017, No. 2819	13
	интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы intensive poultry breeding	Депживотноводство, ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева» Department of Livestock Breeding, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy	ИТС-42-2017 от 29 ноября 2017 г. № 2667 ИТС-42-2017 of November 29, 2017. No. 2667	8
Убой животных на мя- сокомбинатах, мясо- хладобойнях Slaughter of animals at meat processing plants and slaughterhouses	убой животных на мясокомбинатах, мясохладобойнях, побочные продукты животноводства slaughter of animals at meat processing plants and slaughterhouses; animal by-products	Депагропром, ВО «Саратовский ГАУ» Department of Agricultural Production, Saratov State Agrarian University	ИТС-43-2017 от 13 декабря 2017 г. № 2820 ИТС-43-2017 of December 13, 2017, No. 2820	67
Производство пище- вых продуктов, напит- ков, молока и молоч- ной продукции Production of food, beverages, milk and dairy products производство продук- тов питания	производство продук- тов питания food production	Депагропром, ВПО «Кубанский ГАУ» Department of Agricultural Production, Kuban State Agrarian University	ИТС-44-2017 от 11 декабря 2017 г. № 2784 ИТС-44-2017 of December 11, 2017, No. 2784	85
	производство напит- ков молока и молоч- ной продукции production of milk and dairy products	Депагропром, ВО «Вологодская ГМХА» Department of Agricultural Production, Vologda State Agrarian University	ИТС-45-2017 от 29 ноября 2017 г. № 2668 ИТС-45-2017 of November 29, 2017, No. 2668	29
<b>Примечание:</b> <sup>1</sup> утверждены распоряжением Правительства России от 24.12.2014 № 2674-р; <sup>2</sup> утверждены распоряжением Правительства России от 31.10.2014 № 2178-р; <sup>3</sup> утверждены приказом Минсельхоза России от 29.03.2016 № 115 <b>Note:</b> <sup>1</sup> approved by Decree of the Government of Russia dated 12.24.2014 No. 2674-p; <sup>2</sup> approved by Order of the Government of Russia dated October 31, 2014 No. 2178-p; <sup>3</sup> approved by Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated March 29, 2016 No. 115				

- новых производственных технологий – нанотехнологий, наноматериалов, аддитивных технологий печати на 3D-принтерах с проектированием, изготовления индивидуализированных товаров различной сложности с себестоимостью товаров массового производства;

- технологий беспроводной связи – *Zigbee, Bluetooth, Wi-Fi* и др.

Четвертый стратегический вектор биотехнологического развития сельского хозяйства формируется в соответствии с Указом Президента Российской Федерации В.В. Путина от 21 июля 2016 г. № 350 «О ме-

рах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства» и постановлением Правительства Российской Федерации от 25 августа 2017 г. № 966 «Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы», которыми определен комплекс мер, направленных на создание и внедрение конкурентоспособных отечественных технологий, основанных на новейших достижениях науки и обеспечивающих производство оригинальных и элитных семян сельскохозяйственных растений и племенной продукции [2-7].



В настоящее время утверждены подпрограммы по производству оригинальных отечественных сортов картофеля, сахарной свеклы, кормовых культур, кроссов мясной (бройлерной) птицы и начата их реализация.

Однако слабая обеспеченность селекционно-семеноводческих хозяйств современными ресурсосберегающими машинами и оборудованием не позволяет полностью решить поставленные задачи. Имеющиеся техника, оборудование и приборная база для проведения исследований морально и физически устарели, а их обновление происходит крайне медленно.

Для успешной реализации программы необходимо оснастить селекционные учреждения, сортоиспытательные станции, семеноводческие организации современными отечественными специализированными сельскохозяйственными машинами и прежде всего – тракторами, комбайнами, селекционной техникой, лабораторным оборудованием, которые будут соответствовать требованиям разрабатываемых конкурентоспособных отечественных технологий.

В соответствии с п. 1.8 Паспорта национального проекта «Наука», утвержденного протоколом президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 24 декабря 2018 г. № 16, к 2024 г. должна быть организована система технологического трансфера результатов исследований в стадию практического применения, осуществлено внедрение разработанных технологий в организации, действующие в реальном секторе экономики, и сформирован комплекс мер по ориентации государственных заказчиков на закупку наукоемкой и инновационной продукции, созданной на основе российских технологий [2-4].

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ – основной разработчик селекционной техники в стране, имеет многолетний опыт исследовательской и конструкторской деятельности в этой сфере, обладает необходимыми производственными мощностями (опытными) заводами в ряде регионов, испытательными полигонами и т.д. Здесь проводят научные исследования и создают образцы техники нового поколения для семеноводства зерновых, зернобобовых, масличных, овощных, плодовых и ягодных культур.

Для ускорения решения задач по технологическому обеспечению селекционного процесса отечественной специализированной техникой и оборудованием Центр ВИМ выступил с инициативой организовать работы по проектированию и внедрению промышленных образцов машин и оборудования для селекции и семеноводства сельскохозяйственных культур, созданию инновационного конкурентоспособного трактора.

ФНАЦ ВИМ внес предложение о запуске пилотного проекта в Белгородской, Ростовской, Рязанской, Омской, Орловской, Ярославской областях и Ставро-

польском крае по оснащению селекционно-семеноводческих хозяйств техникой, создаваемой Центром ВИМ, в соответствии с потребностями региона.

Особенно актуальна и перспективна инициатива Центра ВИМ по созданию Агробiotехнопарка, презентация которого успешно прошла 19 июля 2019 г. в Рязанской области и получила высокую оценку аграрного научного и профессионального сообщества.

**Выводы.** Анализ тенденций технологического развития сельского хозяйства, оценка мирового опыта, результатов научных исследований последних лет свидетельствуют, что в настоящее время самыми перспективными, популярными и востребованными стали четыре основные стратегии, базирующиеся на парадигме максимально эффективного использования имеющегося агробiotехнологического потенциала.

Они позволяют наиболее рационально достичь максимального синергетического эффекта путем создания оптимальных условий для использования имеющихся в аграрной сфере природно-биологических ресурсов: агроландшафтов, почвенных биоценозов, генетического потенциала продуктивности растений, скота, птицы, объектов аквакультуры, других культивируемых человеком живых организмов при сохранении биологического разнообразия и окружающей природной среды.

В результате продуктивность полей и ферм, производительность труда, экономические показатели в хозяйствах, реализующих такие стратегии, в 2-5 раз выше, чем в среднем по стране.

Качество производимой продукции соответствует критериям органического сельского хозяйства и успешно поставляется на экспорт в страны ЕС и азиатско-тихоокеанского региона.

Особенно следует отметить инициативу по созданию Агробiotехнопарка на базе имущественного комплекса Рязанского НИИСХ Федерального научного агроинженерного центра ВИМ.

Обращение губернатора Рязанской области от 23 августа 2019 г. № 1-02/2129 по этому вопросу поддержано Председателем Правительства Российской Федерации (ДМ-П11-7223р) Д.А. Медведевым, который поручил Минсельхозу России, Минобрнауки России проработать идею создания Агробiotехнопарка в Рязанской области.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Огнищев С.Б. Концепция цифровой платформы агропромышленного комплекса // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2018. N2. С. 16-22.
2. Гольяпин В.Я. и др. Цифровое сельское хозяйство: состояние и перспективы развития: научное издание. М.: Росинформагротех. 2019. 316 с.
3. Федоренко В.Ф., Черноиванов В.И., Гольяпин В.Я. Мировые тенденции интеллектуализации сельского хозяйства: научный аналитический обзор. М.: Росинформагротех. 2018. 232 с.
4. Федоренко В.Ф. Информационные технологии в сельскохозяйственном производстве: научный аналитический обзор. М.: Росинформагротех. 2014. 224 с.
5. Федоренко В.Ф., Мишуоров Н.П., Кузьмина Т.Н., Коноваленко Л.Ю. Международный опыт разработки принципов наилучших доступных технологий в сельском хозяйстве: научный аналитический обзор. М.: Росинформагротех. 2015. 160 с.
6. Цой Ю.А., Мишуоров Н.П. Состояние и тенденции развития роботизированного оборудования для доения коров // *Техника и оборудование для села*. 2019. N5. С. 2-9.
7. Титов М.А. и др. Методические рекомендации по прогнозированию и моделированию развития АПК: официальное издание. М.: Росинформагротех. 2019. 92 с.
8. Федоренко В.Ф., Голубев И.Г. Перспективы применения аддитивных технологий при производстве и техническом сервисе сельскохозяйственной техники: научный аналитический обзор. М.: Росинформагротех. 2018. 140 с.
9. Балабанов В.И. и др. Технологии, машины и оборудование для координатного (точного) земледелия. М.: Росинформагротех. 2016. 240 с.
10. Oczkowski E., Murphy T. Econometric Analysis of the Demand for Eggs: Australia Agribusiness Review. Melbourne, 1999. Vol. 7.
11. Oluwafemi Zacchaeus Olaniyi, Adeoye Adelayo, Olojede Mary O., Adedamola Ras. Determinants of the Household Consumption of Eggs in Oyo State A Case Study of Ibarapa Central Local Government. *Journal of Marketing and Consumer Research*. S. 1. 2015. Vol. 18.
12. Mizrak C., et al. Determination of egg consumption and consumer habits in Turkey. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 2012. 36 (6).
13. Dagum E., Dagum C. Stochastic and deterministic trend models. *Statistica*. 2006. LXVI. N3.
14. Dammer K-H., Wartenberg G. Sensor-based weed detection and application of variable herbicide rates in real time. *Crop Protection*. 2007. Vol. 26. Issue 3. 270-277.
15. Raun W.R. & Johnson G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*. 1999. Vol. 91 (3). 357-363.
16. Christensen S., et al. Site-specific weed control technologies. *Weed Research*. 2009. Vol. 49. Issue 3. 233-241.
17. Pollinac F.W., Maxwell B.D. & Menalled F.D. Weed community characteristics and crop performance: a neighborhood approach. *Weed Research*. 2009. Vol. 49. Issue 3. 242-250.
18. Wallinga J., Kropff M.J., & Rew L.J. Patterns of spread of annual weeds. *Applied Ecology*. 2002. Vol. 3. 31-38.

## REFERENCES

1. Ognishchev S.B. Kontseptsiya tsifrovoy platformy agropro-myshlennogo kompleksa [Concept of a digital platform to be used in farm industry]. *Mezhdunarodniy sel'skokhozyaystvenniy zhurnal*. 2018. N2. 16-22 (In Russian).
2. Gol'tyapin V.Ya., et al. Tsifrovoye sel'skoye khozyaystvo: sostoyaniye i perspektivy razvitiya: nauchnoe izdanie [Digital agriculture: state and development prospects: scientific publication]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2019. 316 (In Russian).
3. Fedorenko V.F., Chernov Ivanov V.I., Gol'tyapin V.Ya. Mirovye tendentsii intellektualizatsii sel'skogo khozyaystva: nauchnyy analiticheskiy obzor [Global trends in the intellectualization of agriculture: scientific analytical review]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2018. 232 (In Russian).
4. Fedorenko V.F. Informatsionnye tekhnologii v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve: nauchnyy analiticheskiy obzor [Information technologies in agricultural production: scientific analytical review]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2014. 224 (In Russian).
5. Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Kuz'mina T.N., Konovalenko L.Yu. Mezhdunarodnyy opyt razrabotki printsipov nailuchshikh dostupnykh tekhnologiy v sel'skom khozyaystve: nauchnyy analiticheskiy obzor [International experience in the development of principles of best available agricultural technologies: scientific analytical review]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2015. 160 (In Russian).
6. Tsoy Yu.A., Mishurov N.P. Sostoyanie i tendentsii razvitiya robotizirovannogo oborudovaniya dlya doeniya korov [Current state and development trends in designing robotic equipment for milking cows]. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2019. N5. 2-9 (In Russian).
7. Titov M.A., et al. Metodicheskie rekomendatsii po prognozirovaniyu i modelirovaniyu razvitiya APK: ofitsial'noe izdanie [Guidelines for forecasting and modeling agribusiness development: an official publication]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2019. 92 (In Russian).
8. Fedorenko V.F., Golubev I.G. Perspektivy primeneniya additivnykh tekhnologiy pri proizvodstve i tekhnicheskoye servise sel'skokhozyaystvennoy tekhniki: nauchnyy analiticheskiy obzor [Prospects of applying additive technologies in the production and repair of agricultural machinery: scientific analytical review]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2018. 140 (In Russian).
9. Balabanov V.I., et al. Tekhnologii, mashiny i oborudovani-



ye dlya koordinatnogo (tochnogo) zemledeliya: uchebnik [Technologies, machines, and equipment for site-specific (precision) agriculture. Study manual]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2016. 240 (In Russian).

10. Oczkowski E., Murphy T. Econometric Analysis of the Demand for Eggs: Australia Agribusiness Review. Melbourne, 1999. Vol. 7. (In English).

11. Oluwafemi Zacchaeus Olaniyi, Adeoye Adelayo, Olojede Mary O., Adedamola Ras. Determinants of the Household Consumption of Eggs in Oyo State A Case Study of Ibarapa Central Local Government. *Journal of Marketing and Consumer Research*. S. 1. 2015. Vol. 18 (In English).

12. Mizrak C., et al. Determination of egg consumption and consumer habits in Turkey. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 2012. 36 (6) (In English).

13. Dagum E., Dagum C. Stochastic and deterministic trend models. *Statistica*. 2006. LXVI. N3 (In English).

14. Dammer K-H., Wartenberg G. Sensor-based weed detection and application of variable herbicide rates in real time. *Crop Protection*. 2007. Vol. 26. Issue 3. 270-277 (In English).

15. Raun W.R. & Johnson G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*. 1999. Vol. 91 (3). 357-363 (In English).

16. Christensen S., et al. Site-specific weed control technologies. *Weed Research*. 2009. Vol. 49. Issue 3. 233-241 (In English).

17. Pollinac F.W., Maxwell B.D. & Menalled F.D. Weed community characteristics and crop performance: a neighborhood approach. *Weed Research*. 2009. Vol. 49. Issue 3. 242-250 (In English).

18. Wallinga J., Kropff M.J., & Rew L.J. Patterns of spread of annual weeds. *Applied Ecology*. 2002. Vol. 3. 31-38 (In English).

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 16.08.2019**  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 16.08.2019

**Статья принята к публикации 12.09.2019**  
The paper was accepted  
for publication on 12.09.2019

## Инновационные технологии и технические средства для промышленного питомниководства

**Андрей Анатольевич Завражнов<sup>1</sup>,**

кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: aiz@mgau.ru;

**Андрей Юрьевич Измайлов<sup>2</sup>,**

академик РАН, доктор технических наук;

**Анатолий Иванович Завражнов<sup>1</sup>,**

академик РАН, доктор технических наук,  
главный научный сотрудник

**Яков Петрович Лобачевский<sup>2</sup>,**

член-корреспондент РАН, доктор технических наук,  
профессор;

**Владимир Юрьевич Ланцев<sup>1</sup>,**

доктор технических наук, профессор

<sup>1</sup>Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Российская Федерация;

<sup>2</sup>Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** В Российской Федерации не производят высококлиренсную технику для питомниководческих хозяйств, выращивающих посадочный материал плодовых и ягодных культур. В связи с этим в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ и Мичуринском государственном аграрном университете разработали систему высококлиренсных энергетических средств, позволяющую эффективно вести хозяйственную деятельность, в зависимости от площади питомника. (*Цель исследования*) Повысить эффективность выращивания вегетативно размножаемых подвоев яблони в маточнике и саженцев путем комплексной механизации процессов на основе универсального технического средства и технологических модулей с рациональными конструктивными параметрами и кинематическими характеристиками исполнительных рабочих органов. (*Материалы и методы*) Общую методику испытаний машин и рабочих органов дополнили частными методиками в соответствии с программой исследований. Изготовили экспериментальные образцы машин для весеннего открытия маточных растений, окучевания отрастающих побегов, ошмыгивания листьев, отделения отводков и обеспечили систему автоматической ориентации над рядом растений. Разработали комплекс технических средств для ухода за маточными растениями. (*Результаты и обсуждение*) Определили, что качественное выполнение весеннего открытия маточника в оптимальные сроки раскрытия побегов повышает его продуктивность на 7-10 процентов. Создали оптимальную среду для развития растений с помощью машины с активным рабочим органом на операции окучевания отрастающих побегов, что увеличивает выход стандартных отводков до 86,2-90,6 процента. Обеспечили качественное механизированное отделение отводков в улучшенных условиях среза, что позволяет повысить выход стандартных отводков на 5-7 процентов, а на следующий год они хорошо укоренились, что дало прибавку отводков первого сорта 8-10 процентов. (*Выводы*) Экономическая эффективность от применения универсального комплекса для работы в маточнике составляет от 514 тысяч до 664 тысяч рублей на один гектар. Применение высококлиренсных технических средств СУВЭС, ВП-1,5 и АП-1,5 со сменными технологическими модулями повышает уровень механизации в среднем на 30 процентов, сокращает затраты труда на 20 процентов, улучшает условия труда обслуживающего персонала.

**Ключевые слова:** плодовой питомник, отводковый маточник, механизация садоводства, технологический комплекс, энергетическое средство, экономический эффект.

■ **Для цитирования:** Завражнов А.А., Измайлов А.Ю., Завражнов А.И., Лобачевский Я.П., Ланцев В.Ю. Инновационные технологии и технические средства для промышленного питомниководства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №4. С. 16-24. DOI 10.22314.2073-7599-2019-13-4-16-24.

## Innovative Technologies and Technical Means for Industrial Nursery Farming

**Andrey A. Zavrazhnov<sup>1</sup>,**

Ph.D.(Eng.), e-mail: aiz@mgau.ru;

**Andrey Yu. Izmaylov<sup>2</sup>,**

member of RAS, Dr.Sc.(Eng.);

**Anatoliy I. Zavrazhnov<sup>1</sup>,**

member of RAS, Dr.Sc.(Eng.),

chief research engineer

**Yakov P. Lobachevskiy<sup>2</sup>,**

corresponding member of RAS, Dr.Sc.(Eng.), professor;

**Vladimir Yu. Lantsev<sup>1</sup>,**

Dr.Sc.(Eng.), professor

<sup>1</sup>Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russian Federation;

<sup>2</sup>Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation



**Abstract.** Russian manufacturing companies do not produce high-clearance equipment for nursery farms growing fruit and berry planting material. In this respect, VIM and Michurinsk State Agrarian University have developed a system of high-clearance machines, taking into account the nursery area, thus providing for efficient production. (*Research purpose*) Increasing the efficiency of growing seedlings and apple rootstocks reproducing in a vegetative way in a mother plantation by means of complex mechanization based on universal technical equipment and technological modules with rational design parameters and kinematic characteristics of working units. (*Materials and methods*) General methodology for testing machines and working units was supplemented with specific methods used in accordance with the research program. The authors made experimental models of machines for spring opening of grafters, cultivating growing shoots, cleaning leaves, and separating branches; provided a system of automatic orientation over a number of plants; and developed a set of technical tools for the care of grafters. (*Results and discussion*) It has been determined that high-quality spring opening of a mother plantation with the observance of optimal timing for opening shoots increases the productivity of the mother plantation by 7-10 percent. Establishing an optimal environment for plant development using a machine with an active working unit for hilling growing shoots increases the output of standard layering up to 86.2-90.6 percent. Appropriate mechanized separation of layering in improved cutting conditions allowed to increase the yield of standard layering by 5-7 percent, and in the subsequent year there was an 8-10 percent increase in the yield of standard layering (of the first grade) due to their better rooting. (*Conclusions*) The economic efficiency of using a universal mechanized set of machinery in a mother plantation is from 514 thousand to 664 thousand rubles per one hectare. The use of high-level technical means of SUVES, VP-1.5 and AP-1.5 with replaceable technological modules increases the level of mechanization by an average of 30 percent, significantly reduces labor costs – up to 20 percent, and improves working conditions for operating staff.

**Keywords:** fruit nursery, mother plantation, mechanization, technological complex, power means, economic effect.

**For citation:** Zavrazhnov A.A., Izmaylov A.Yu., Zavrazhnov A.I., Lobachevskiy Ya.P., Lantsev V.Yu. Innovatsionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya promyshlennogo pitomnikovodstva [Innovative technologies and technical means for industrial nursery farming]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 16-24 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-16-24.

Стабильное получение высококачественных плодов в необходимых для России объемах возможно при интенсификации и индустриализации отрасли промышленного садоводства, а также значительном увеличении площадей закладки новых садов, что подтверждается рядом законодательных актов Правительства РФ и ведомственными программами развития садоводства и питомниководства. Важный аспект решения поставленных задач – организация производства высококачественного посадочного материала [1, 2].

Однако эффективное производство посадочного материала сдерживается крайне низким уровнем инженерного обеспечения. Степень механизации трудоемких процессов в отечественном садоводстве и питомниководстве не превышает 15%. Используемая отечественная техника создана более 30 лет назад и морально устарела, имеет низкий технический уровень и не удовлетворяет требованиям технологизации и индустриализации современного садоводства [3, 4].

В этих условиях особенно актуальны разработка и внедрение инновационных машинных технологий промышленного садоводства и питомниководства.

**Цель исследования** – повысить эффективность выращивания вегетативно размножаемых подвоев яблони в маточнике и саженцев путем комплексной механизации процессов на основе универсального технического средства и технологических модулей с рациональными конструктивными параметрами и ки-

нематическими характеристиками исполнительных рабочих органов.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Методикой предусматривалось проведение лабораторных, полевых опытов и производственных испытаний. Общая методика испытаний машин и рабочих органов дополнена частными методиками в соответствии с программой исследований. Для исследований изготовили экспериментальные образцы машин для весеннего открытия маточных растений, окучивания отрастающих побегов, ошмыгивания листьев, отделения отводков и обеспечили систему автоматической ориентации над рядом растений.

Производственную проверку опытных образцов машин проводили в опытно-производственном отделении ФГБНУ ВНИИ садоводства им. И.В. Мичурина на экспериментальном маточнике, ОАО «Плодопитомник «Жердевский», ООО «Снежеток», учхозе-племзаводе «Комсомолец» Тамбовской области, СХПК «Племзавод Майский» Вологодской обл., СПК «Де-Густо» РСО-Алания в период 2011-2018 гг.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Чтобы повысить продуктивность маточных растений путем увеличения выхода отводков, разработали комплекс технических средств.

Первая операция в начале сезона – весеннее раскрытие маточной косички. В целях избежания повреждений заморозками открытие маточника надо начинать на 10-14 дней позднее начала фазы прогре-

ва и подсыхания укрывающего субстрата. Экспериментально доказано, что в средней зоне России разокучивание надо проводить с 1 по 10 мая. Это позволит повысить продуктивность маточника в 1,6-2,7 раза в сравнении с ранним и поздним открытием растений [5, 6].

Для обеспечения оптимальных сроков разработали машину для весеннего раскрытия маточника УКМ-ВО (рис. 1).



Рис. 1. Универсальный комплекс для весеннего раскрытия маточника УКМ-ВО

Fig. 1. Universal complex UKM-VO for spring opening of a mother plantation

Применение механизированного открытия маточных растений путем использования ротационных рабочих органов с эластичными элементами обеспечивает высокое качество выполнения работ и позволяет исключить ручной труд. Полнота удаления субстрата по всем вариантам составляет 93-97% [7, 8].

Для образования корневой системы отводков за сезон проводят ряд окучиваний. Этот прием выполняют в несколько этапов, а сроки зависят от фазы развития растений, состояния и возраста маточника, зоны произрастания, наличия стационарного орошения и технических средств. Несвоевременное выполнение агротехнического приема снижает продуктивность при ранних сроках начала окучивания и ухудшает качественные показатели получаемых подвоев – при запаздывании.

Отрастающие побеги вегетативно размножаемых подвоев яблони окучивают до тех пор, пока холмик не достигнет оптимальной высоты – 25-30 см от маточной косички. В результате продуктивность среднерослого подвоя 57-545 возросла на 46%, полукарликового подвоя 62-396 – на 29% и карликового подвоя Р-59 – на 53%, а выход отводков высшего сорта – в 2,7 раза, на 50 и 19% соответственно. При этом субстрат должен быть обработан жидкими удобрениями или полит водой, следовательно, необходимо техническое средство, исключающее влияние влажности материала на технологическую операцию [8].

Для окучивания отрастающих побегов вегетативно размножаемых подвоев субстратом, обработанным жидкими удобрениями или политым водой, раз-

работали техническое средство УКМ-О, обеспечивающее перемещение частиц в зону произрастания побегов без дополнительных конструктивных элементов (рис. 2).



Рис. 2. Машина для окучивания отрастающих побегов в отводковом маточнике УКМ-О

Fig. 2. Machine UKM-O for hilling outgrowing shoots in a layering mother plantation

Применение данной машины обеспечивает заполнение ленты растений субстратом без образования пустот в средней части ряда отводков. Вместе с тем фрезерные рабочие органы удалены от растения и не повреждают побеги.

Использование универсального комплекса для работы в маточниках с технологическим модулем для окучивания (УКМ-О) растений на почвах повышенной влажности, а также на различных субстратах не требует дополнительных настроек.

Машина обеспечивает выполнение технико-технологических требований по окучиванию отводков на всех этапах выполнения процесса. Происходит заполнение ленты растений наиболее ценной фракцией (размер комочков почвы 1-7 мм) в количестве не менее 70%, что создает оптимальные условия для интенсивного корнеобразования у побегов, а также их последующего развития.

Применение УКМ-О в хозяйствах Российской Федерации позволило снизить затраты труда и исключить первое ручное окучивание и оправку дичков после технического средства.

Для уничтожения сорняков и рыхления почвы в междурядьях маточника вегетативно размножаемых подвоев создан технологический модуль для междурядной обработки УКМ-МО к универсальному комплексу для работы в маточниках (рис. 3).

Он обеспечивает:

- полное уничтожение сорняков в обрабатываемой зоне с одновременным рыхлением почвы на глубину до 10 см;
- содержание в почве не менее 50% частиц диаметром 0,25-10,00 мм ;
- наличие в поверхностном слое не более 5% эрозийных частиц размером 1 мм.

Операции раскрытия корневой системы отводка и ошмыгивание листьев должны быть проведены в кратчайшие сроки перед отделением отводков, что исклю-



Рис. 3. Машина для междурядной обработки маточника UKM-MO

Fig. 3. Machine UKM-MO for inter-row cultivation of a mother plantation

чит обезвоживание растений. Создана машина для раскрытия корневой системы клоновых подвоев UKM-PK перед их отделением, обеспечивающая непрерывное контролирование линии ряда клоновых отводков, максимальное ограничение и рыхление укрывного вала с боков с последующим протряхиванием корневой системы эластичными бичами и удалением субстрата из зоны корней (рис. 4).



Рис. 4. Машина для раскрытия корневой системы отводков UKM-PK

Fig. 4. Machine UKM-PK for disclosing the root system of layerings

Применение механизированного раскрытия корневой системы вегетативно размножаемых подвоев путем использования ротационных рабочих органов с эластичными элементами обеспечивает высокое качество выполняемых работ. Полнота удаления субстрата составляет 91-93%. Механических повреждений побегов, в том числе отломанных, нет. Технологическая операция выполняется за один проход. Зарубежные машины вентиляторного типа выполняют 3-5 проходов, что вызывает риск повреждения растений. Впервые создана машина для механического ошмыгивания листьев с побегов клоновых подвоев UKM-OSH (рис. 5). Она удаляет листья фронтально расположенным очесывающим барабаном, а удерживающие устройства обеспечивают качество выполнения технологической операции и снижают повреждение побегов.

Применение механического отделения листьев с вегетативно размножаемых подвоев обеспечивает вы-



Рис. 5. Машина для ошмыгивания листьев с отводков UKM-OSH

Fig. 5. Machine UKM-OSH for cleaning leaves from layerings

сокое качество выполнения работ. Полнота удаления листьев составляет 96-99%, а повреждение побегов минимальное – в среднем 3,8%. При этом поврежденные растения пригодны к высадке в первом поле питомника. Механическое повреждение почек незначительно. Машина позволит исключить применение ручного труда высококвалифицированных специалистов на подготовительной операции перед отделением отводков [9].

Машина UKM-OO оснащена системой отделения отводков от маточного растения, высота среза регулируется, предусмотрено место оператора (рис. 6). Срезанные растения отбрасываются в междурядье и укладываются в валок.



Рис. 6. Машина для отделения отводков UKM-OO

Fig. 6. Machine UKM-OO for separating layerings

Технологические модули UKM-BO, UKM-O, UKM-MO, UKM-PK, UKM-OSH и UKM-OO входят в универсальный комплекс UKM для выращивания вегетативно размножаемых подвоев (рис. 7, таблица).

При его создании использован метод блочно-модульного проектирования, на основании которого представлена технологическая схема UKM в виде иерархического графа (рис. 8) [10]. Применение блочно-модульного принципа построения универсального комплекса для работы позволяет снизить капитальные вложения по сравнению с комплексом современных выпускаемых за рубежом машин в 2,0-2,5 раза и повысить степень механизации на специализированных технологических операциях. Сравнение с комплексами, применяемыми в хозяйствах Российской Федерации, по технологическим операциям свидетельствует об эффективности новой разработки [6, 7]:



Рис. 7. Универсальный комплекс для работы в маточниках УКМ

Fig. 7. Universal complex UKM for working in mother plantations

- весеннее открытие маточника: в результате соблюдения оптимальных сроков раскрытия побегов и качественного выполнения операции продуктивность маточника повышается на 7-10%;

- применение машины с активным рабочим органом на операции окучивания отрастающих побегов: создание оптимальной среды развития растений повышает выход стандартных отводков до 86,2-90,6%;

- применение механического ошмыгивания исключает ручной труд и сокращает сроки выполнения подготовительных работ (однако при этом наблюдается повреждение до 3% побегов);

- механизированное отделение отводков позволяет повысить выход стандартных отводков на 5-7% благодаря качеству отделения и улучшению условий среза, а на следующий год вследствие лучшего укоренения выход стандартных отводков (первого сорта) увеличивается на 8-10%.

Рост продуктивности маточника и выхода стандартных отводков по сравнению с базовой технологией позволяет получить дополнительно 54,4 тыс. качественных растений. При разнице в цене отводков первого сорта и нестандартного всего на 5 руб. дополнительный эффект составит от 288 тыс. до 439 тыс. руб./га.

Применение комплекса УКМ для выращивания вегетативно размножаемых подвоев позволяет снизить затраты ручного труда в среднем в 5,8 раза в сравнении с традиционными комплексами, применяемыми в хозяйствах Российской Федерации.

Экономическая эффективность от использования универсального комплекса для работы в маточнике составляет от 514 тыс. до 664 тыс. руб. на 1 га (в ценах 2016 г.), а срок окупаемости комплекса – 1 сезон.

В задачу питомников входит выращивание необходимого количества стандартных по качеству, оздоровленных саженцев, лучших для данной зоны сортов плодовых пород на наиболее ценных подвоях.

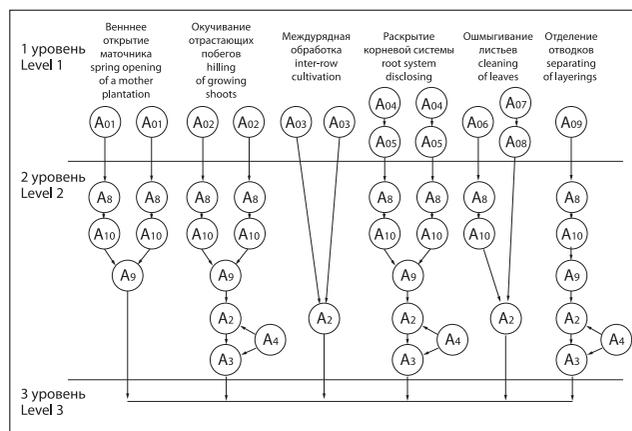


Рис. 8. Технологическая схема универсального комплекса УКМ в виде иерархического графа:

$A_{01}$  – рабочий орган (элемент, определяющий технологические функции машины);  $A_1$  – несущая рама;  $A_2$  – подвижная рама;  $A_3$  – параллелограммный механизм;  $A_4$  – система автоматической ориентации машины;  $A_5$  – навеска;  $A_6$  – опорное колесо;  $A_7$  – механизм регулировки колес;  $A_8$  – раздаточный редуктор;  $A_9$  – конический редуктор;  $A_{10}$  – карданная передача

Fig. 8. Operation chart of the universal technological complex UKM represented as a hierarchical graph:

$A_{01}$  – a working unit (element that determines the technological functions of a machine);  $A_1$  – a supporting frame;  $A_2$  – a movable frame;  $A_3$  – a parallelogram mechanism;  $A_4$  – an automatic orientation system of a machine;  $A_5$  – a hitch;  $A_6$  – a support wheel;  $A_7$  – a wheel alignment mechanism;  $A_8$  – a transfer gear;  $A_9$  – a bevel gear;  $A_{10}$  – a cardan drive

Питомники должны обеспечить посадочным материалом закладку новых промышленных садов, ремонт и реконструкцию ранее заложенных насаждений, а также удовлетворить запросы садоводов-любителей. В целях повышения качества посадочного материала питомниководы обязаны систематически выполнять агротехнические мероприятия по обеспечению питанием, влагой, борьбе с сорняками и вредителями, рыхлить почву и проводить фитосанитарный контроль. Для снижения затрат ручного труда в существующих конструкциях питомников необходимо энергетическое средство, имеющее агротехнический просвет не менее 1500 мм. При этом зарубежные производители техники с дорожным просветом от 1500 мм ориентированы на крупные сельскохозяйственные организации и выпускают высококлиренсные тракторы, применение которых рентабельно только на площадях не менее 12 га [4].

В настоящее время в Российской Федерации посадочный материал плодовых и ягодных культур производят в хозяйствах разных организационных форм. Но высококлиренсную технику в нашей стране не выпускают.

В связи с этим, в ФНАЦ ВИМ и ФНЦ им. И.В. Мичурина с участием Мичуринского ГАУ разработана система высококлиренсных энергетических средств,



Технические характеристики модулей УКМ Technical characteristics of UKM modules					
Показатели Indicators	УКМ-ВО	УКМ-МО	УКМ-О	УКМ-ПК	УКМ-ОО
Технологическая операция Technological operation	весеннее раскрытие маточника spring opening of a mother plantation	междурядная обработка маточника inter-row cultivation of a mother plantation	окучивание маточника hilling of growing shoots	раскрытие корневой системы disclosing of a root system	отделение отводков separating of layerings
Тип / Type	Навесной / Mounted				
Агрегатирование Coupling	колесные тракторы общего назначения, тягового класса 9-14 кН general purpose wheeled tractors, traction class of 9-14 kN				
Колея Wheel track	1,4 – 1,6 м 1,4 – 1,6 m				
Комплектация Complete set types	вертикальные роторы с щетками (2 ед.) vertical rotors with brushes (2 pcs.)	пропашные секции КРН (2 ед.) KRN row-crop cultivating sections (2 pcs.)	горизонтальные роторы (2 ед.) плужные отвалы (2 ед.) horizontal rotors (2 pcs.) moldboards (2 pcs.)	вертикальные роторы (2 ед.) плужные отвалы (2 ед.) vertical rotors (2 pcs.) moldboards (2 pcs.)	дисковый нож (1 ед.) disk colter (1 pc.)
Привод рабочих органов Drive of working units from tractor PTO	от ВОМ трактора from tractor PTO	пассивный passive	от ВОМ трактора / from tractor PTO		
Рабочая скорость Operating speed	1,5 – 5 км/ч 1.5 - 5 km / h				
Число одновременно обрабатываемых рядов The number of simultaneously cultivated rows	1	2	1	1	1
Масса / Mass	не более 300 кг / no more than 300 kg				

соответствующих площади питомника и обеспечивающих экономическую эффективность производственных процессов (обработки почвы в междурядьях, борьбы с сорняками, болезнями, вредителями и т.д.):

- для сельскохозяйственных организаций – самоходное универсальное высококлиренсное энергетическое средство с электронным управлением (СУВЭС), тяговое усилие 12,6 кН и более (рис. 9);

- для крестьянских (фермерских) хозяйств – высококлиренсная платформа ВП-1,5 под трактор общего назначения, тяговое усилие 8,1-12,6 кН;

- для небольших участков – адаптер АП-1,5 для работы с мотоблоком, тяговое усилие до 8,1 кН.

СУВЭС, созданное в ФНАЦ ВИМ, предназначено для работы в питомниках с широкой гаммой технологических машин [3].

В основу СУВЭС входят: силовая установка мощностью 107 л.с., гидрофицированное шасси, система бесступенчатого регулирования скорости движения, кабина, система привода активных рабочих органов и интеллектуальная система управления и мониторинга рабочих процессов, которая позволяет:

- автоматически поддерживать скорость движения в зависимости от выполняемой технологической операции;



Рис. 9. Самоходное универсальное высококлиренсное энергетическое средство с электронным управлением

Fig. 9. Electronic self-propelled universal high-clearance power means

- контролировать и управлять работой навесного оборудования;

- осуществлять автоматизированное слежение блока рабочих органов за плоскостью ряда и поверхностью почвы;

- отображать оперативную информацию о работе систем энергосредства и навесного оборудования на дисплее в кабине оператора.

В настоящее время энергосредство агрегируется с тремя высококлиренсными технологическими адаптерами:

- опрыскивателем-гербицидником высококлиренсным, обеспечивающим высококачественную дифференцированную обработку растений и почвы жидкими химическими препаратами в междурядьях питомников плодовых культур, виноградниках и на плантациях ягодных кустарников;

- широкозахватным пропашным высококлиренсным культиватором со сменными рабочими органами, выполняющим междурядную культивацию в междурядьях плодовых питомников, молодых садов интенсивного типа, ягодных кустарников и виноградников;

- культиватором фрезерным высококлиренсным, оснащенным системой автоматического бесступенчатого регулирования частоты вращения фрез, в зависимости от почвенных условий обеспечивающим качественное уничтожение сорняков и рыхление почвы в междурядьях плодовых питомников и ягодных кустарников.

Основное преимущество разработанных машин перед существующими выражается в многофункциональности, способности адаптироваться к различным производственным условиям и типам технологий с высокой производительностью и минимальными временными и трудозатратами.

Опрыскиватель-гербицидник высококлиренсный предназначен для обработки растений и почвы в междурядьях питомников жидкими химическими и микробиологическими препаратами для борьбы с вредителями, болезнями и подавления роста сорняков, а также для внекорневых подкормок (рис. 10). Опрыскиватель-гербицидник представляет собой смонтированную на платформе конструкцию, которая крепится с помощью быстро соединяющихся устройств на раме энергосредства.

Передняя стойка складывается в горизонтальном положении в направлении назад. Рабочее положение с опущенными передней и боковыми стойками предназначено для обработки саженцев различного возраста в питомниках. Одновременно опрыскиватель-гербицидник может обрабатывать до 5 междурядий размером 130 см в плодовых питомниках. Угол распыла по горизонтали ограничивается резиновыми пластинами в интервале 45-70°. Сверху распыливающая головка прикрыта защитной пластиной с целью предотвращения попадания рабочей жидкости на нижние листья культурных растений [9].

Широкозахватный пропашной высококлиренсный культиватор со сменными рабочими органами предназначен для культивации и рыхления почвы в междурядьях плодовых питомников, молодых садов интенсивного типа, ягодных кустарников, уничтожения сорняков при работе плоскорезными рабочими органами на глубину 5-12 см, при работе рыхлительными лапами – до 16 см (рис. 11). Культиватор с переменной шириной захвата используется на обработке



Рис. 10. Работа пестицидной системы

Fig. 10. Operation of a pesticide-distribution system

почвы в садах и виноградниках с различной шириной междурядий.

Культиватор фрезерный высококлиренсный оснащен системой бесступенчатого регулирования частоты вращения фрез в зависимости от почвенных условий (рис. 12). Он предназначен для интенсивного рыхления и выравнивания поверхностного слоя по-



Рис. 11. Широкозахватный пропашной высококлиренсный культиватор

Fig. 11. Wide-range high-clearance machine for row-crop cultivation

чвы, сохранения влаги, уничтожения сорняков в междурядьях садов интенсивного типа и питомников.

Культиватор фрезерный высококлиренсный, общей шириной захвата до 4,5 м, состоит из четырех фрезерных секций со стойками. Для привода фрез барабана каждой секции фрезы установлены гидромоторы OMR-100. Навеска культиватора фрезерного осуществляется при помощи сцепки автоматической СА-1.

Эффективность применения СУВЭС:

- рост производительности труда в 3-5 раз на наиболее трудоемких процессах в садоводстве, питомниководстве и виноградарстве, вследствие возможности агрегатирования с широкозахватными высокопроизводительными орудиями;

- снижение денежных затрат на выполнение операций до 30%;

- рост технической производительности в 1,5-2 раза и снижение удельного расхода топлива на 12-15% по сравнению с серийными отечественными машинами аналогичного назначения, благодаря применению современного электроуправляемого гидравлического, топливного оборудования и систем автома-



Рис. 12. Культиватор фрезерный высококлиренсный  
Fig. 12. High-clearance rotary cultivator

тизированного управления и контроля;  
- уменьшение капиталовложений и расходов по ремонту в 1,5-2 раза.

Для крестьянско-фермерских хозяйств, где площадь питомников не превышает 10 га, в ФНЦ имени И.В. Мичурина с участием ученых Мичуринского ГАУ впервые предложен способ использования трактора общего назначения как в высококлиренсном, так и в стандартном вариантах, что позволяет максимально применять энергетическое средство на различных сельскохозяйственных работах.

Для работы в питомниках трактор типа МТЗ-320 устанавливают на высококлиренсную платформу ВП-1,5 (рис. 13). Навешивают сменные технологические модули: культиватор пропашной, универсальный малообъемный опрыскиватель и секции гербицидной обработки, аналогичные по назначению с машинами для СУВЭС, но в ином конструктивном исполнении [10].



Рис. 13. Высоклиренсная платформа ВП-1,5 с трактором МТЗ-320

Fig. 13. High clearance platform VP-1.5 coupled with MTZ-320 tractor

Высоклиренсная платформа ВП-1,5 состоит из рамы, системы рулевого управления и специальных бортовых редукторов. Перед установкой на платформу с трактора снимают колеса и переносят на ВП-1,5, затем его помещают на платформу и соединяют с бортовыми редукторами через муфты.

После этого подключают рулевое управление, и трактор можно использовать как высококлиренсный (рис. 14). Выполнив операции в обратной последовательности, трактор используют в стандартном вари-

анте. Для монтажа МТЗ-320 на высококлиренсную платформу ВП-1,5 требуется 10 чел.ч.

Для питомников, площадь которых менее 1 га, наиболее перспективным техническим средством для механизации работ можно считать мотоблок.

Однако он тоже должен обеспечивать свободный проход над растениями. В связи с этим разработали адаптер АП-1,5 для использования с мотоблоком как малогабаритным энергетическим средством (рис. 15).

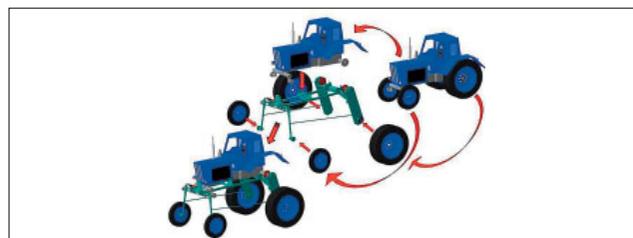


Рис. 14. Схема переоборудования платформы в высококлиренсный комплекс с трактором МТЗ-320

Fig. 14. Conversion of the platform into a high-clearance complex based on an MTZ-320 tractor



Рис. 15. Адаптер АП-1,5 с мотоблоком для работ в питомниках

Fig. 15. Adapter AP-1.5 with a motor-block for work in nurseries

Он обеспечивает выполнение основного цикла работ, связанных с уходом за растениями в плодовых питомниках: обработку почвы в междурядьях, борьбу с сорняками, болезнями и вредителями.

Элементы рабочих органов аналогичны с машинами для СУВЭС по назначению, но в ином конструктивном исполнении.

### Выводы

Применение универсального комплекса УКМ для работы в маточниках позволяет повысить продуктивность на 4,3-7,0% и выход стандартных отводков – на 16,1-21,6%.

Экономическая эффективность от использования универсального комплекса для работы в маточнике составляет от 514 тыс. до 664 тыс. руб. на 1 га, а срок окупаемости комплекса – 1 сезон.

Применение высококлиренсных технических средств СУВЭС, ВП-1,5 и АП-1,5 со сменными технологическими модулями повышает уровень механизации в среднем на 30%, сокращает затраты труда на 20%, улучшает условия труда обслуживающего персонала, что положительно влияет на развитие питомниководства Российской Федерации.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Кузичева Н.Ю. Садоводство в России: проблемы и пути их решения // *Вестник Череповецкого государственного университета*. 2011. N2. С. 52-56.
2. Куликов М.И., Воробьев В.Ф., Бычков В.В. и др. Новые технологии и технические средства для механизации работ в садоводстве. М.: Росинформагротех. 2012. 164 с.
3. Гудковский В.А., Кладь А.А. Концепции развития интенсивного садоводства в современных условиях России // *Садоводство и виноградарство*. 2001. N4. С. 2-8.
4. Григорьева Л.В., Муханин И.В. Интенсивная технология производства отводков в горизонтальном маточнике клоновых подвоев яблони с применением органического субстрата: рекомендации. Мичуринск: Издательство Мичуринского агроуниверситета. 2011. 66 с.
5. Куликов И.М., Утков Ю.А., Бычков В.В. Техническое оснащение современного промышленного садоводства и перспективы его совершенствования // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2010. N5 С. 3-8.
6. Куликов И.М., Воробьев В.Ф., Головин С.Е., Хроменко В.В. Технологии и технические средства по выращиванию посадочного материала и закладке интенсивных насаждений плодовых, ягодных культур и винограда: методические рекомендации. М.: Росинформагротех. 2015. 172 с.
7. Завражных А.А., Завражных А.И., Ланцев В.Ю. Применение блочно-модульного принципа построения комплекса для работ в маточниках вегетативно размножаемых подвоев // *Техника и оборудование для села*. 2014. N12(210). С. 2-5.
8. Завражных А.И., Завражных А.А., Ланцев В.Ю., Маненков К.А., Федоренко В.Ф. Технологии и техника промышленного садоводства. М.: Росинформагротех. 2016. 520 с.
9. Zavrazhnov A.I., Zavrazhnov A.A., Trunov Y.V. Modern industrial horticulture as the managed information and technological system. *Ecology, Environment and Conservation*. 2016. Vol. 22. 173-177.
10. Васильев А.Л. Модульный принцип формирования техники. М.: Издательство стандартов. 1989. 238 с.

**REFERENCES**

1. Kuzicheva N.Yu. Sadovodstvo v Rossii: problemy i puti ikh resheniya [Gardening in Russia: problems and solutions]. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011. N2. 52-56 (In Russian).
2. Kulikov M.I., Vorob'yev V.F., Bychkov V.V. et al. Novye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya mekhanizatsii rabot v sadovodstve [New technologies and technical means for the mechanization of gardening operations]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2012. 164 (In Russian).
3. Gudkovskiy V.A., Klady A.A. Kontseptsii razvitiya intensivnogo sadovodstva v sovremennykh usloviyakh Rossii [Concepts of the development of intensive horticulture in modern conditions of Russia]. *Sadovodstvo i vinogradarstvo*. 2001. N4. 2-8 (In Russian).
4. Grigor'yeva L.V., Mukhanin I.V. Intensivnaya tekhnologiya proizvodstva otvodkov v gorizont'al'nom matochnike klonovykh podvoev yabl'ni s primeneniem organicheskogo substrata: rekomendatsii [Intensive technology for the production of layering in a horizontal mother plantation of clonal apple rootstocks using an organic substrate: recommendations]. Michurinsk: Izdatel'stvo Michurinskogo agrouniversiteta. 2011. 66 (In Russian).
5. Kulikov I.M., Utkov Yu.A., Bychkov V.V. Tekhnicheskoe osnashcheniye sovremennogo promyshlennogo sadovodstva i perspektivy yego sovershenstvovaniya [Technical equipment of modern industrial gardening and prospects for its improvement]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2010. N5. 3-8 (In Russian).
6. Kulikov I.M., Vorob'ev V.F., Golovin S.Ye., Khromenko V.V. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva po vyrashchivaniyu posadochnogo materiala i zakladke intensivnykh nasazhdeniy plodovykh, yagodnykh kul'tur i vinograda: metodicheskie rekomendatsii [Technologies and technical means for growing planting material and laying intensive plantings of fruit, berries, and grapes: guidelines]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2015. 172 (In Russian).
7. Zavrazhnov A.A., Zavrazhnov A.I., Lantsev V.Yu. Primenenie blochno-modul'nogo printsipa postroyeniya kompleksa dlya rabot v matochnikakh vegetativno raznozhayemykh podvoev [Use of a block-modular principle of building an operating complex for work in mother plantations of vegetatively reproduced stocks]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2014. N12(210). 2-5 (In Russian).
8. Zavrazhnov A.I., Zavrazhnov A.A., Lantsev V.Yu., Manayenkov K.A., Fedorenko V.F. Tekhnologii i tekhnika promyshlennogo sadovodstva [Technologies and equipment for industrial gardening]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2016. 520 (In Russian).
9. Zavrazhnov A.I., Zavrazhnov A.A., Trunov Y.V. Modern industrial horticulture as the managed information and technological system. *Ecology, Environment and Conservation*. 2016. Vol. 22. 173-177 (In English).
10. Vasil'ev A.L. Modul'nyy printsip formirovaniya tekhniki [Modular principle of the formation of technological means]. Moscow: Izdatel'stvo standartov. 1989. 238 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 13.08.2019**  
**The paper was submitted**  
**to the Editorial Office on 13.08.2019**

**Статья принята к публикации 10.09.2019**  
**The paper was accepted**  
**for publication on 10.09.2019**



## Цифровая технология оценки мощности тракторного парка сельхозпредприятия

**Виктор Валентинович Альт,**  
академик РАН, доктор технических наук,  
профессор, e-mail: sibfti.n@ngs.ru;  
**Олег Федорович Савченко,**  
кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник;

**Олег Владимирович Елкин,**  
кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник

Сибирский физико-технический институт аграрных проблем Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий Российской академии наук, п. Краснообск, Новосибирская область, Российская Федерация

**Реферат.** Важное направление повышения эффективности использования машинно-тракторных агрегатов – оперативный контроль мощности тракторов сельхозпредприятия. Показали, что потеря мощности тракторов и снижение их тяговых свойств повышают расход топлива на 10-15 процентов, а также эксплуатационные затраты. (*Цель исследования*) Разработать цифровую технологию оценки мощности тракторного парка сельхозпредприятия с применением динамической модели двигателей внутреннего сгорания и создать конфигурацию программно-аппаратных средств, базирующихся на современных информационных технологиях сбора и обработки данных. (*Материалы и методы*) Выбрали динамический метод диагностики двигателей внутреннего сгорания с использованием тестовых циклических воздействий, моделированием процесса измерения диагностического сигнала на фоне помех и анализом измерительной информации для расчета мощности. Обосновали структурную схему диагностического устройства, обеспечивающую выполнение необходимых технологических операций. Провели экспериментальные исследования цифровой технологии по оценке мощности тракторного парка сельхозпредприятия. (*Результаты и обсуждение*) Разработали алгоритм расчета мощности двигателей внутреннего сгорания в режиме реального времени по скоростной характеристике. Создали диагностическое устройство, обеспечивающее регистрацию данных, расчет скоростных характеристик и мощности двигателей внутреннего сгорания, а также информационное сопровождение всего технологического цикла. Определили, что завышенный расход топлива, необходимый для поддержания номинального значения мощности двигателей тракторного парка, за период наблюдений в среднем за год составляет 6525 килограммов, а затраты на него с учетом средней оптовой цены на дизельное топливо достигли 206 837 рублей. Показали возможность снижения затрат, необходимых для поддержания выявленных отклонений мощности вследствие завышенного расхода топлива путем своевременных ремонтно-регулирующих управляющих воздействий. Рассмотрели направления дальнейшего развития цифровой технологии и устройств. (*Выводы*) Предложили цифровую технологию и диагностическое устройство для оценки мощности тракторных двигателей внутреннего сгорания в производственных условиях. Рекомендовали сельхозпредприятиям использовать их как инструмент оперативного контроля энергообеспечения полевых работ для эффективной эксплуатации тракторного парка и снижения затрат.

**Ключевые слова:** тракторный парк, двигатель внутреннего сгорания, мощность тракторов, диагностика двигателей внутреннего сгорания, математическая модель, информационное сопровождение технологического цикла.

■ **Для цитирования:** Альт В.В., Савченко О.Ф., Елкин О.В. Цифровая технология оценки мощности тракторного парка сельхозпредприятия // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №4. С. 25-31. DOI 10.22314.2073-7599-2019-13-4-25-31.

## Digital Technology of Assessment the Power Capacity of Tractor Fleet of an Agricultural Enterprise

**Viktor V. Alt,**  
member of RAS, Dr.Sc.(Eng.), professor,  
e-mail: sibfti.n@ngs.ru;

**Oleg F. Savchenko,**  
Ph.D.(Eng.), key research engineer;  
**Oleg V. Elkin,**  
Ph.D.(Eng.), key research engineer

Siberian Physics and Technology Institute of Agrarian Problems of the Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies at the Russian Academy of Sciences, p. Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russian Federation

**Abstract.** One of the important ways to increase the efficiency of using machinery and tractors is to ensure operating control of the power capacity of tractors employed in agricultural enterprises. It is shown that power loss of tractors and their decreased traction properties result in increased fuel consumption by 10-15 percent as well as increased operating costs. (*Research purpose*) To develop a digital technology of assessing the power capacity of the internal combustion engines (ICE) of the tractor fleet employed in agricultural enterprise and develop a configuration of software and hardware based on modern information technologies for data collection and processing. (*Materials and methods*) The authors used a dynamic method of ICE diagnostics using test cyclic effects, modeling measurements of a diagnostic signal against the background of hindrances, and an analysis of measuring information for power calculation purposes. A structural diagram of the diagnostic device performing necessary technological operations has been offered as a result. The authors also conducted pilot studies of using digital technology for assessing the power capacity of the tractor fleet employed in an agricultural enterprise. (*Results and discussion*) The authors have developed an algorithm of ICE power calculation in real time taking into account speed considerations and developed a diagnostic device providing data recording, calculation of ICE speed and power characteristics, as well as information support of the entire production cycle. It has been determined that the increased fuel consumption necessary to maintain the rated value of the tractor engine power during the observation period averaged 6525 kilograms per year, and the fuel cost, taking into account the average wholesale price of diesel fuel, reached 206,837 rubles. The authors have shown a possibility of reducing costs required to maintain the detected power deviations due to excessive fuel consumption through timely repair and adjustment-and-control actions. They have evaluated possible directions of further development of the digital technology and devices. (*Conclusions*) The authors have proposed a digital technology and a diagnostic device for evaluating the power of internal combustion tractor engines under production conditions. The proposed technology and diagnostics device are recommended for use by agricultural enterprises as an operating control instrument of the power supply of field works to ensure the efficient operation of the tractor fleet and provide for cost reduction.

**Keywords:** tractor fleet, internal combustion engine (ICE), tractor power, ICE diagnosing, mathematical model, information support of technological cycle

■ **For citation:** Alt V.V., Savchenko O.F., Elkin O.V. Tsifrovaya tekhnologiya otsenki moshchnosti traktornogo parka sel'khozpredpriyatiya [Digital technology of assesment the power capacity of tractor fleet of an agricultural enterprise]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 25-31 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-25-31.

**И**зменение технического состояния тракторного парка сельхозпредприятия из-за износа деталей, нарушения регулировок и настроек механизмов и систем приводит, как правило, к потере мощности тракторов, что существенно снижает эффективность и конкурентоспособность хозяйства. Отсутствие контроля параметров технического состояния двигателей внутреннего сгорания (ДВС) машинно-тракторного парка (мощности, расхода топлива – без специальных средств) при выполнении сельскохозяйственных работ повышает расход топлива на 10-15% из-за потери тяговых свойств. Необходим оперативный контроль энергетического потенциала машинно-тракторного парка, для чего требуется мониторинг параметров ДВС – непрерывное или периодическое определение эффективной мощности, которое стало перспективным направлением диагностики самоходных машин в АПК [1].

Сравнение методик энергетических оценок сельскохозяйственной техники показало, что имеющийся метод энергетической оценки сельхозмашин по ГОСТ 52777 предполагает применение расходомеров топлива и использование регуляторных характеристик ДВС, определяемых по стендовым испытаниям двигателей, что практически исключает использование этого метода в эксплуатационных условиях.

В этой связи несомненна актуальность разработ-

ки новых диагностических средств контроля энергетических показателей в производственных условиях, для чего следует воспользоваться динамическим методом диагностики тракторных двигателей. Измеряя угловую скорость и ускорение коленчатого вала ДВС при тестовом циклическом воздействии, можно построить скоростную динамическую характеристику, аналогичную получаемой при стендовых испытаниях. По ее параметрам определяют динамические свойства и мощность ДВС.

Углубленный анализ параметров и характеристик состояния ДВС в переходных режимах требует привлечения быстродействующих технических средств и передовых технологий обработки больших объемов информации с использованием цифровой техники. Наряду с очевидными достижениями цифровых технологий следует отметить интеллектуализацию компьютеров и, в отличие от аналоговой техники, создание унифицированного носителя информации, объединяющего в единое целое весь технологический процесс исследований в режиме реального времени [2]. Применение достижений цифровой техники оказало значительное влияние на процессы оптимального функционирования машинно-тракторного парка путем автоматизации сельскохозяйственных технологических операций и автоматизированного информационного сопровождения технологических про-



цессов, а особенно моделирования сельскохозяйственных объектов, в том числе создания и совершенствования математических моделей работы ДВС.

Известны математические модели на основе диагностических схем переходных процессов ДВС, использующие внутрицикловые изменения угловой скорости вращения коленчатого вала ДВС, реализующие имитационное моделирование и идентификацию рабочего процесса ДВС. Они включают методы оценки работоспособности двигателя путем получения диагностической информации и создания программно-технических средств диагностирования ДВС различного назначения [3, 4]. Однако применение этих моделей затруднено для оценки мощности тракторных ДВС в условиях эксплуатации, а с учетом множества разномарочных двигателей, становится достаточно сложным, трудоемким и недостаточно оперативным.

В Сибирском физико-техническом институте аграрных проблем совершенствуют динамическую математическую модель ДВС с целью диагностирования тракторных двигателей в условиях эксплуатации с использованием измерительных, вычислительных и интеллектуальных технологий. Развитие идет в направлении реализации как технологий измерений быстропеременных рабочих процессов двигателей, так и сложных алгоритмов компьютерного моделирования переходных процессов, расчета скоростных характеристик и энергетических параметров ДВС, а также создания информационного сопровождения всего цикла технологического процесса оценки мощности двигателей [5].

**Цель исследования** – разработать цифровую технологию оценки мощности тракторного парка сельхозпредприятия с применением динамической модели ДВС и создать конфигурацию программно-аппаратных средств, базирующихся на современных информационных технологиях сбора и обработки данных.

**Материалы и методы.** Методической основой исследований служит компьютерная модель динамики ДВС, разработанная с учетом многолетнего опыта разработчиков [6]. Она учитывает нелинейность и нестационарность отдельных звеньев, влияние изменения множества важнейших параметров отдельных агрегатов и систем и проявление существенных нелинейностей и других отклонений на выходные процессы двигателя в функции времени, углового перемещения, скоростного и нагрузочного режимов. Рассчитывают временные, частотные и статистические характеристики процессов, их частные и интегральные показатели. Компьютерная модель применима как при стендовых исследовательских испытаниях, так и в эксплуатационных условиях. Для определения мощности ДВС при динамическом методе вычисляют угловое ускорение коленчатого вала  $\varepsilon$ , рад/с<sup>2</sup>. В

стационарном режиме из-за неравномерности вращения коленчатого вала и в режиме свободного разгона (при моменте нагрузки  $M_{наг} = 0$ ) угловое ускорение коленчатого вала определяют зависимостью:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{1}{J_D} (M_i - \omega^2 \frac{dJ_D}{d\varphi} - M_{вп} - M_{наг}) = \\ &= \frac{1}{J_D} (M_i^k + M_i^r - M_{ин} - M_{вп} - M_{наг}), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $J_D$  – приведенный момент инерции ДВС и нагрузочных масс (при моменте нагрузки  $M_{наг} = 0$  – это собственный приведенный по отношению к коленчатому валу момент инерции ДВС), кг/м<sup>2</sup>;

$\omega$  – угловая скорость коленчатого вала (частота вращения  $n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \omega d\varphi$ ), рад/с;

$\varphi$  – угол поворота коленчатого вала (ПКВ), рад;

$M_i = M(\omega, \psi, \varphi) = M_i^k + M_i^r$  – индикаторный момент двигателя ( $\psi$  – положение органа топливоподачи), Н·м;

$$M_i^k = \sum_{k=1}^{i_c} M_{i1(k)}^k \text{ и } M_i^r = \sum_{k=1}^{i_c} M_{i1(k)}^r - \text{компрессионная и}$$

газовая составляющие индикаторного момента;

$M_{i1}^k$  и  $M_{i1}^r$  – компрессионная и газовая составляющие одного цилиндра, Н·м;

$i_c$  – число цилиндров;

$$M_{ин} = M_{ин}(\omega, \varphi) =$$

$$= M_{ин}^{рег}(\varphi - \zeta_m) + M_{ин}^{ост} = \omega^2 \frac{dJ_D}{d\varphi} - \text{инерционная}$$

составляющая крутящего момента, содержащая регулярную компоненту, вызванную неуравновешенными инерционными силами (например, у двигателя компоновки 4-Р это вторая гармоника частоты вращения), и остаточную компоненту случайного характера, присущую всем двигателям, Н·м;

$M_{вп} = M_{вп}(\omega, \varphi)$  – момент внутренних потерь (преимущественно трения), Н·м.

Уравнение (1) при  $M_{наг} = \text{const}$  или  $M_{наг} = 0$  можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \varepsilon^k + \varepsilon^r + \varepsilon_{ин}^{рег} + \varepsilon_{ин}^{ост} + \varepsilon_{вп} = \\ &= \sum_{m=1}^{i_c} \varepsilon_{i1}^k(\varphi - \xi_m) + \sum_{m=1}^{i_c} \varepsilon_{i1}^r(\varphi - \xi_m) + \\ &+ \sum_{m=1}^{i_c} \varepsilon_{ин1}(\varphi - \zeta_m) + \varepsilon_{ин}^{ост} + \varepsilon_{вп}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\xi_r$  – угол сдвига по фазе (по углу ПКВ) в соответствии с диаграммой распределения вспышек по цилиндрам, рад;

$\zeta_m$  – угол сдвига по фазе между инерционными составляющими, зависящий от конструктивного расположения кривошипно-шатунных механизмов, рад;

$l$  – индекс для одного цилиндра.

Полное ускорение  $\varepsilon$  содержит составляющие:

- индикаторные – компрессионную  $\varepsilon^k$  и газовую  $\varepsilon^g$ ;
- инерционные – регулярную  $\varepsilon_{инн}^{рег}$  и остаточную  $\varepsilon_{инн}^{ост}$ ;
- внутренних потерь (преимущественно трения)  $\varepsilon_{вп}$ .

Если обеспечить разделение полного ускорения коленчатого вала ДВС на отдельные составляющие для каждого из цилиндров как в стационарном режиме полной нагрузки, так и в разгоне, то по ним можно оценить неравномерность работы цилиндров и внутрицикловую неравномерность работы ДВС.

При диагностировании состояния ДВС используют сигналы физических процессов, характеризующие работу двигателя. После измерения и предварительной обработки сигналов с датчиков информацию полностью обрабатывают. При этом в измерительном канале от датчика до микропроцессорного устройства происходит накопление погрешностей. Случайность процессов подачи топлива и его сгорания от цикла к циклу, а также процессов трения в сопряжениях ДВС вызывают случайные отклонения угловых скорости и ускорения коленчатого вала  $\omega(t)$  и  $\varepsilon(t)$  от их средних значений. Поэтому измеряемые процессы следует рассматривать как аддитивную совокупность полезного информативного (диагностического) процесса и помех. Для определения параметров при обосновании метода целесообразно использовать известные вероятностные методы анализа сигналов, статистические методы оптимальной обработки сигналов на фоне помех [7].

Важным аспектом развития исследований служит необходимость учета того, что современные автотракторные двигатели оснащены электронной системой управления, обеспечивающей требуемый алгоритм управления режимами работы на основе характеристик по измеренным значениям параметров. Отсюда очевиден принцип создания диагностических систем, использующих бортовую сеть трактора: диагностирование различными аналитическими методами по измеренным процессам не только со специальных датчиков физических процессов ДВС (например, датчиков углового положения коленчатого вала), но и с использованием сигналов, определяемых стандартным протоколом средств коммуникаций от датчиков электронной системы управления.

**Результаты и обсуждение.** В результате выполненных исследований по созданию динамической модели ДВС и моделированию процесса измерения диагностических сигналов разработали алгоритм расчета мощности ДВС [8, 9].

Определили требования к функциональным возможностям и техническим характеристикам устройства оценки мощности ДВС в производственных условиях. Обосновали структурную схему (рис. 1). Раз-

работали диагностическое устройство «МОТОР-ТЕСТЕР СибФТИ» (далее – мотор-тестер), ведущие разработчики устройства – С.Н. Ольшевский, Д.Н. Клименко.

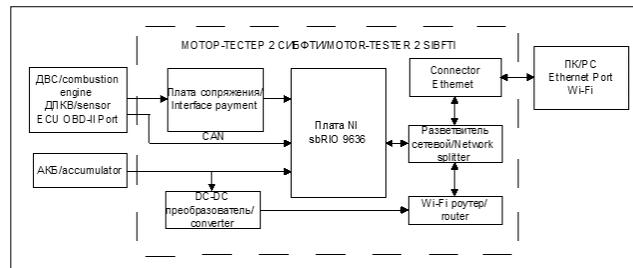


Рис. 1. Структурная схема диагностического устройства: ДВС – двигатель внутреннего сгорания; ECU – электронный блок управления двигателем; ДПКВ – датчик положения коленчатого вала; АКБ – аккумуляторная батарея; PC – персональный компьютер

Fig1. Block diagram of a diagnostic device: ДВС – internal combustion engine; ECU – electronic control unit of internal combustion engine; ДПКВ – position sensor of a crankshaft; АКБ – accumulator battery; ПК – personal computer

Применили специализированную плату NI sbRIO-9636, функционирующую на базе программируемой логической интегральной схемы и контроллера реального времени компании *National Instruments* (США). Особое внимание уделили получению диагностического сигнала, для формирования которого используется сигнал как от специально устанавливаемого на ДВС датчика положения коленчатого вала (ДПКВ) в картере сцепления напротив зубчатого венца маховика, так и от штатного датчика ДВС по диагностическому разъему (OBD-II). Разработали плату сопряжения, входящую в блок регистрации, на выходе которой в результате преобразований получили информационный сигнал, характеризующий частоту и ускорение вращения коленчатого вала, поступающий на обработку в контроллер и далее в персональный компьютер с использованием Ethernet-интерфейса [10].

Для реализации цифровой технологии разработали специальное программное обеспечение, осуществляющее регистрацию диагностических сигналов быстропеременных процессов при работе ДВС и расчет мощности автотракторного двигателя в режиме реального времени по скоростной характеристике. При регистрации данных одновременно с работой программного обеспечения механизатор выполняет процедуру многократных тестов воздействия на ДВС в виде серии циклов разгона-выбега, что отражено в Свидетельстве РФ государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014662533 (RU).

Удобный интерфейс дает возможность пользователю непосредственно контролировать процесс подачи тестовых воздействий, регистрировать данные и визуализировать результаты расчетов. Помимо про-



водной передачи предусмотрена беспроводная, что особенно важно в производственных условиях.

Полученные данные мощности ДВС оценивают с учетом их динамики в ходе эксплуатации, сравнивая их с паспортными значениями. На основе результатов анализа формируют заключение о продолжении эксплуатации трактора или о необходимости ремонтно-регулирующих работ.

Цифровую технологию оценки мощности тракторных ДВС проверили экспериментально с помощью мотор-тестера СибФТИ в условиях ФГУП «Элитное» Новосибирской области. Испытания проводили во время полевых работ в течение двух лет (2015-2016 гг.) с мая по октябрь с периодичностью 2-4 раза в неделю на пяти тракторах отечественного производства, оборудованных датчиками угла поворота коленчатого вала (табл. 1). В ходе мониторинга выявили неисправности и дали рекомендации по их устранению (табл. 2).

за год составляет 6525 кг, а затраты на него с учетом средней оптовой цены на дизельное топливо достигли 206 837 руб. На основе полученных экспериментальных данных в хозяйстве своевременно предприняли управляющие воздействия, что обеспечило снижение затрат и более эффективное использование техники. Разработали методические положения по диагностированию ДВС динамическим методом с применением мотор-тестера. Информационную технологию определения мощности ДВС можно рассматривать как дополнение к технологии диагностирования тракторов с помощью установки КИ-13940 ГОСНИТИ для измерения частоты вращения коленчатого вала и определения мощности дизеля тракторов путем формирования дополнительной технологической карты [11, 12].

Для дальнейшего развития цифровой технологии необходимы расширение номенклатуры контролируру-

Таблица 1		Table 1															
РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ																	
RESULTS OF ASSESSMENT THE POWER CAPACITY OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES																	
Тракторы Tractors	Двигатель / Engine		Эффективная мощность, кВт / Effective power, kW														
	Марка Brand	Номинальная мощность, кВт Rated power, kW	2015 г.										2016 г.				
			167	162	165	155	154	150	134	145,7	133	135	133	134	132	-	-
К-700А	ЯМЗ-238НДЗ	173	167	162	165	155	154	150	134	145,7	133	135	133	134	132	-	-
МТЗ-1221	ММЗ-Д260.1	61	102	97	104	111	108,8	106,9	109	106,7	100	101	80	109	100	103	103
МТЗ-82	ММЗ-Д243.1	61	54,8	57,3	52,5	54,7	61,2	63,4	-	-	65,6	68,7	66,2	68,5	67,9	-	-
МТЗ-82	ММЗ-Д243.1	61	69,4	57,2	54,8	61,6	55,9	63	56,7	56,8	56,9	59,7	55,7	56,7	54,8	56,8	55,4
МТЗ-82	ММЗ-Д243.1	61	56,6	54,4	57,9	54,7	52,8	-	-	-	58,5	56	56,2	59,4	62,5	-	-

Оценены значения мощности ДВС и установлены их изменения во времени как по каждому трактору в отдельности, так и по контрольной группе тракторов в целом:

- по группе тракторов МТЗ-82 за период испытаний при каждом измерении изменялись значения мощности в пределах 5-10% от среднего разброса;
- на МТЗ-1221 в 2015 г. выявили снижение мощности на 7,9% от номинальной, а в 2016 г. – 11,2%. Обнаружили неисправность регулятора насоса;
- на К-700А отметили падение мощности (до 20%) за весь период наблюдений.

Проведенный анализ показал, что завышенный расход топлива, необходимый для поддержания номинального значения мощности ДВС исследуемого тракторного парка, за период наблюдений в среднем

емых параметров, совершенствование датчиков физических процессов ДВС, в том числе и добавление измерительного канала расхода топлива. Весьма перспективен отказ от необходимости проведения механизатором специальных качественных тестовых действий (серии полноценных циклов разгона-выбега) для исключения непроизводительных временных и трудовых затрат. Малогабаритные быстродействующие надежные средства для передачи, обработки и визуализации информации будут востребованы при создании встроенных средств диагностирования ДВС, систем удаленной оценки мощности тракторных ДВС через спутниковую навигацию.

**Выводы.** Предлагаемая цифровая технология и диагностическое устройство позволяют оценить мощность тракторных ДВС в производственных услови-

Таблица 2		Table 2
НЕИСПРАВНОСТИ, ВЫЯВЛЕННЫЕ ВО ВРЕМЯ МОНИТОРИНГА FAULTS DETECTED DURING MONITORING		
Марка и номер трактора Tractor brand and number	Неисправности Faults detected	Рекомендации Recommendations
MTЗ-82, инв. №51 MTZ 82, inv. No 51	1. 1 и 2 цилиндр – форсунки неисправны 2. Подтекает штуцер на ФТО* 3. Стук клапанов 3 цилиндра 1. Cylinder 1 and 2 – nozzles are faulty 2. Leaking union of a secondary fuel filter 3. Knocking valves of cylinder 3	Провести внеплановый ремонт To make off-schedule repair
MTЗ-82, инв. №60 MTZ 82, inv. No 60	1. Подтекание топлива на выходе из ФТО к ТНВД* 2. Стук клапанов 1-го и 2-го цилиндра 3. ТНВД не отрегулирован, нет пломбы 1. Fuel dribbling between the secondary fuel filter and the fuel injection pump 2. Knocking valves of cylinder 1 and 2. The fuel injection pump is not adjusted, there is no seal	Провести ремонт (замена ТНВД и распылителей форсунок, регулировка) To make repair (replacement of the fuel injection pump and nozzle sprayers, adjustment)
К-700А, инв. № 3 K-700A, inv. No. 3	Существенное снижение мощности, разгерметизация воздуховода, затрудненный пуск Significant power decrease, depressurization of an air duct, complicated starting	Ремонт, после чего мощность составила 85% от номинальной Repair resulting in power value of 85% of the rated one
MTЗ-82, инв. №51 MTZ 82, inv. No 51	Существенное снижение мощности Significant power decrease	Ремонт, после чего мощность ДВС составила 90% от номинальной Repair resulting in ICE power value of 90% of the rated one
MTЗ-1221, инв. №10 MTZ 1221, inv. No 10	Выявлена неустойчивость работы ДВС при повышенной частоте вращения коленчатого вала Instable operation of an ICE at the increased crankshaft speeds	Возможная причина – неисправность регулятора насоса, необходим ремонт A possible reason – malfunction of the pump governor, repair is required
MTЗ-82, инв. №60 MTZ 82, inv. No 60	Проводили небольшой ремонт неоднократно в период с мая по октябрь Small repair operations were repeatedly made from May to October	Трактор работал в сезоне очень мало, причина – возникающие мелкие неисправности техники The tractor worked very little during the season due to small malfunctions of the equipment
MTЗ-82, инв. №5 MTZ 82, inv. No 5	Обнаружена неисправность турбины Malfunction of the turbine is detected	Замена/ремонт турбины Replacement / repair of the turbine

\*Примечание:

ФТО – фильтр тонкой очистки; ТНВД – топливный насос высокого давления; ДВС – двигатель внутреннего сгорания

ях. Сельхозпредприятие может использовать их как инструмент оперативного контроля энергообеспече-

ния полевых работ для снижения затрат и повышения эффективности использования тракторного парка.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дунаев А.В., Костомахин М.Н., Воронов А.Н. Перспективы развития диагностирования самоходных машин в АПК // *Труды ГОСНИТИ*. 2016. Т. 122. С. 63-70.
2. Тимонин С.Б., Тимонина А.С. Внедрение цифровых технологий в процессы обеспечения оптимального функционирования машинно-тракторного агрегата // *Нива Поволжья*. 2018. №3. С.124-132.
3. Гребенников С.А., Гребенников А.С., Косарева А.В., Шерин А.А. Диагностирование элементов ДВС динамическим методом // *Грузовик*. 2016. №10. С. 20-24.
4. Кривцов С.Н. Методический подход к формированию динамической модели дизельного автомобиля с аккумуляторной топливоподающей системой // *Автомобильная промышленность*. 2016. №10. С. 10-14.
5. Савченко О.Ф., Альт В.В., Добролюбов И.П., Ольшевский С.Н. Развитие средств автоматизации измерений и анализа рабочих процессов при испытаниях ДВС // *Двигательное строительство*. 2014. №2. С. 26-31.
6. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Ольшевский С.Н. Принципы разработки компьютерной динамической модели автотракторных ДВС // *Вестник НГАУ*. 2014. №2. С. 141-146.
7. Cooper G.R., McGillem C.D. Probabilistic methods for signal and system analysis. New York: Oxford University Press. 1999. 496.
8. Альт В.В., Ольшевский С.Н., Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Борисов А.А., Орехов А.К. Разработка динамической модели ДВС // *Труды ГОСНИТИ*. 2015. Т. 118. С. 8-15.
9. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Альт В.В., Ольшевский С.Н., Клименко Д.Н. Моделирование процесса оптимального определения параметров состояния двигателя внутреннего сгорания измерительной экспертной системой // *Вычислительные технологии*. 2015. Т. 20. №6. С. 22-35.
10. Альт В.В., Ольшевский С.Н., Клименко Д.Н., Борисов А.А., Орехов А.К. Определение мощности автотрактор-



ных двигателей по параметрам системы бортовой диагностики // *Труды ГОСНИТИ*. 2015. Т. 119. С. 151-156.

11. Клименко Д.Н., Орехов А.К., Борисов А.А. Методические положения по диагностике двигателей внутреннего сгорания энергонасыщенной техники динамическим методом. Новосибирск: СибФТИ СФНЦА РАН. 2017. 56 с.

12. Измайлов А.Ю., Кряжков В.М., Антышев Н.М., Елизаров В.П., Лобачевский Я.П., Сорокин Н.Т., Гурылев Г.С., Савельев Г.С., Сизов О.А., Шевцов В.Г. Концепция модернизации сельскохозяйственных тракторов и тракторного парка России на период до 2020 года. М.: ВИМ. 2012. 56 с.

## REFERENCES

1. Dunaev A.V., Kostomakhin M.N., Voronov A.N. Perspektivy razvitiya diagnostirovaniya samokhodnykh mashin v APK [Prospects for the development of diagnostics of self-propelled vehicles in agriculture]. *Trudy GOSNITI*. 2016. Vol. 122. 63-70 (In Russian).

2. Timonin S.B., Timonina A.S. Vnedrenie tsifrovyykh tekhnologii v protsessy obespecheniya optimal'nogo funktsionirovaniya mashinno-traktornogo agregata [Introduction of digital technologies to ensure the optimal functioning of machine-tractor units]. *Niva Povolzh'ya*. 2018. N3. 124-132 (In Russian).

3. Grebennikov S.A., Grebennikov A.S., Kosareva A.V., Sherin A.A. Diagnostirovanie elementov DVS dinamicheskim metodom [Diagnosing ICE elements with a dynamic method]. *Gruzovik*. 2016. N10. 20-24 (In Russian).

4. Krivtsov S.N. Metodicheskii podkhod k formirovaniyu dinamicheskoi modeli dizel'nogo avtomobilya s akkumulyatornoy toplivopodayushchey sistemoy [Methodological approach to the formation of a dynamic model of a diesel vehicle with a battery-powered fuel supply system]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2016. N10. 10-14 (In Russian).

5. Savchenko O.F., Al't V.V., Dobrolyubov I.P., Ol'shevskiy S.N. Razvitie sredstv avtomatizatsii izmereniy i analiza rabochikh protsessov pri ispytaniyakh DVS [Developing automation tools for measurements and analysis of operating processes occurring while testing internal combustion engines]. *Dvigatelistroenie*. 2014. N2. 26-31 (In Russian).

6. Dobrolyubov I.P., Savchenko O.F., Ol'shevskiy S.N. Printsipy razrabotki komp'yuternoy dinamicheskoy modeli avtotraktornykh DVS [Principles of developing a computer dynamic model of an automotive ICE engine]. *Vestnik NGAU*. 2014. N2. 141-146 (In Russian).

7. Cooper G.R., McGillem C.D. Probabilistic methods for sig-

nal and system analysis. New York: Oxford University Press. 1999. 496 (In English).

8. Al't V.V., Ol'shevskiy S.N., Dobrolyubov I.P., Savchenko O.F., Borisov A.A., Orekhov A.K. Razrabotka dinamicheskoy modeli DVS [Developing a dynamic model of an ICE]. *Trudy GOSNITI*. 2015. Vol. 118. 8-15 (In Russian).

9. Dobrolyubov I.P., Savchenko O.F., Al't V.V., Ol'shevskiy S.N., Klimenko D.N. Modelirovanie protsessa optimal'nogo opredeleniya parametrov sostoyaniya dvigatelya vnutrennego sgoraniya izmeritel'noy ekspertnoy sistemoy [Modeling the process of optimal determination of the state parameters of an internal combustion engine with a measuring expert system]. *Vychislitel'nye tekhnologii*. 2015. Vol. 20. N6. 22-35 (In Russian).

10. Al't V.V., Ol'shevskiy S.N., Klimenko D.N., Borisov A.A., Orekhov A.K. Opredelenie moshchnosti avtotraktornykh dvigatelei po parametram sistemy bortovoy diagnostiki [Determining the power of automotive engines based on the parameters of an on-board diagnostic system]. *Trudy GOSNITI*. 2015. Vol. 119. 151-156 (In Russian).

11. Klimenko D.N., Orekhov A.K., Borisov A.A. Metodicheskie polozheniya po diagnostike dvigateley vnutrennego sgoraniya energonasyschennoy tekhniki dinamicheskim metodom [Guidelines for diagnosing internal combustion engines of energy-saturated equipment with the dynamic method]. Novosibirsk. SibFTI SFNTsA RAN. 2017. 56 (In Russian).

12. Izmaylov A.Yu., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., Elizarov V.P., Lobachevskiy Ya.P., Sorokin N.T., Gurylev G.S., Savelyev G.S., Sizov O.A., Shevtsov V.G. Kontseptsiya modernizatsii sel'skokhozyaystvennykh traktorov i traktornogo parka Rossii na period do 2020 goda [The concept of modernization of agricultural tractors and tractor fleet of Russia for the period up to 2020]. Moscow: VIM. 2012. 56 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 24.05.2019  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 24.05.2019

Статья принята к публикации 03.07.2019  
The paper was accepted  
for publication on 03.07.2019

## Методы решения экологических проблем в животноводстве и птицеводстве

**Александр Юрьевич Брюханов,**  
доктор технических наук, профессор РАН,  
заведующий отделом, e-mail: sznii@yandex.ru;  
**Эдуард Вадимович Васильев,**  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник;

**Екатерина Викторовна Шалавина,**  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник;  
**Роман Алексеевич Уваров,**  
кандидат технических наук,  
научный сотрудник

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Реферат.** В Северо-Западном федеральном округе основной источник загрязнения окружающей среды от сельхозпроизводства – утилизация органических отходов (навоз, помет), риск от которой достигает 85 процентов. Проблема обеспечения экологической безопасности требует разработки методов ее решения, основанных на современных интеллектуальных машинных технологиях, средствах мониторинга и управления технологическими процессами утилизации органических отходов. (*Цель исследования*) Обосновать комбинированные методы решения экологических проблем в животноводстве и птицеводстве. (*Материалы и методы*) Изучили воздействие на окружающую среду машинных технологий, применяемых в животноводстве и птицеводстве. Исследования проводили путем оценки экологических рисков и устойчивости агроэкосистем, применения методов и методик оценки наилучших доступных технологий, изучения основных направлений создания интеллектуальных цифровых технологий. (*Результаты и обсуждение*) Определили основные методы решения экологических проблем крупных сельскохозяйственных комплексов, включающие обоснование, проектирование и системную эксплуатацию наилучших доступных технологий аграрного производства. Предложили техническое средство в виде биореактора утилизации органических отходов, способное сократить время переработки навоза и помета в 60 раз, обеспечить автоматизированный контроль протекания и управления технологическим процессом с онлайн-регистрацией производственных и экологических показателей. Описали интеллектуальную систему мониторинга и утилизации органических отходов, включая концептуальную схему создания модульных центров по глубокой переработке. (*Выводы*) Обосновали, что реализация современных методов обеспечения эффективного и экологически безопасного функционирования сельскохозяйственного производства требует создания опытных площадок для проведения комплексных научных исследований и демонстрации работы системы: машинная технология – мониторинг – управление. Одну из площадок агробиотехнопарка ВИМ предложили создать на пилотном животноводческом комплексе Ленинградской области. Определили перспективные направления исследований для обеспечения перехода сельскохозяйственного производства на новый технологический уклад, реализующий принципы Smart Farming («Умное сельское хозяйство»), позволяющий обеспечить утилизацию не менее 510 миллионов тонн в год органических отходов сельхозпроизводства.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность; сельскохозяйственное производство; агробиотехнопарк; наилучшие доступные технологии; отходы сельхозпроизводства; навоз; помет; международный проект.

■ **Для цитирования:** Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Шалавина Е.В., Уваров Р.А. Методы решения экологических проблем в животноводстве и птицеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №4. С. 32-37. DOI 10.22314.2073-7599-2019-13-4-32-37.

## Methods for Solving Environmental Problems in Livestock and Poultry Farming

**Aleksandr Yu. Bryukhanov,**  
Dr.Sc.(Eng), professor of the Russian Academy of Sciences,  
head of the department, e-mail: sznii@yandex.ru;  
**Eduard V. Vasilev,**  
Ph.D.(Eng), senior research engineer;

**Ekaterina V. Shalavina,**  
Ph.D.(Eng), senior research engineer;  
**Roman A. Uvarov,**  
Ph.D.(Eng), research engineer



Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, St. Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** In the Northwestern Federal District, the main agricultural source of environmental pollution is the disposal of organic waste (manure and litter), which accounts for a risk of 85 percent. The problem of ensuring environmental safety requires appropriate solutions based on modern intelligent machine technologies, means of monitoring and controlling technological processes of organic waste disposal. (*Research purpose*) To provide rationale for combined methods of solving environmental problems in animal and poultry farming. (*Materials and methods*) The authors studied the environmental impact of machine technologies used in livestock and poultry farming. The studies were carried out by assessing environmental risks and the sustainability of agroecosystems, applying methods and techniques for assessing the best available technologies, and studying the main prospects of developing intelligent digital technologies. (*Results and discussion*) The authors have identified the main methods of solving the environmental problems associated with large farm enterprises, including the calculation, design and system operation of the best available technologies for agricultural production. They have proposed a technical tool in the form of a bioreactor for the disposal of organic waste, capable of reducing manure and litter processing period in 60 times and providing automated flow and process control with online registration of production and environmental indicators. They have described an intelligent system for monitoring and utilizing organic waste, including a conceptual framework for establishing modular centers for deep processing. (*Conclusions*) The authors have proved that the implementation of modern methods for ensuring effective and environmentally safe agricultural production requires the establishing of experimental plot sites for complex research and demonstration of a “machine technology – monitoring – management” system. It has been proposed that a site of the VIM agrobiotechnological cluster should be established at a pilot livestock complex enterprise in the Leningrad Region. The authors have identified promising areas of research to ensure the transition of agricultural production to a new technological structure that implements the principles of Smart Farming to provide for the disposal of at least 510 million tons of agricultural organic waste a year.

**Keywords:** environmental safety; agricultural production; agrobiotechnological cluster; best available technology; farm waste; manure; litter; international project.

■ **For citation:** Bryukhanov A.Yu., Vasilev E.V., Shalavina E.V., Uvarov R.A. Metody resheniya ekologicheskikh problem v zhivotnovodstve i ptitsevodstve [Methods for solving environmental problems in animal and poultry farming]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 32-37 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-32-37.

**В** Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации обозначены вызовы, стоящие перед наукой в сфере технологического и технического развития многих отраслей страны, среди них:

продовольственная безопасность, конкурентоспособность отечественной продукции на мировых рынках, снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе;

возрастание антропогенных нагрузок на окружающую среду до масштабов, угрожающих воспроизводству природных ресурсов, и связанный с их неэффективным использованием рост рисков для жизни и здоровья граждан.

Отсюда вытекает одна из основных задач аграрной науки – активизировать биологический потенциал агроэкосистем и их элементов на всех уровнях – от отдельного растения и животного – до всей агроэкосистемы, заменить значительную часть антропогенной энергии внутренней энергией биологических процессов [1]. Национальный проект «Наука» предусматривает создание ряда программ и проектов, например агроботехнопарков, которые призваны быстро и эффективно освоить лучшие научные достижения. В июле 2019 г. на базе Федерального

агроинженерного центра ВИМ создан первый в России агроботехнопарк, ориентированный на формирование агроэкосистем и агроландшафтов с более полным использованием естественных процессов, замкнутостью биогеохимических циклов с целью сохранения окружающей среды, обеспечения населения высококачественными продуктами питания, снижения затрат исчерпаемых ресурсов на единицу продукции [2-4].

Одну из площадок агроботехнопарка ВИМ предлагается создать на животноводческом комплексе Ленинградской области, где в промышленном исполнении будут реализованы наилучшая доступная технология (НДТ) утилизации органических отходов и система интеллектуального мониторинга. Создание площадки планируется на период 2019-2021 гг. в рамках проекта «Внедрение экологической системы сельского хозяйства – основа для устойчивого развития приграничных сельских районов» (далее – Проект), одобренного и финансируемого Программой приграничного сотрудничества «Россия – Юго-Восточная Финляндия 2014-2020» [5]. Цель Проекта – обеспечить экологическую безопасность и улучшить экологическое состояние сельских территорий путем внедрения научно обоснованных систем проектирования,

технических, технологических и управленческих решений и развития инфраструктуры для переработки и утилизации отходов животноводства.

**Цель исследования** – обосновать комбинированные методы решения экологических проблем в животноводстве и птицеводстве.

**Материалы и методы.** Провели многолетние исследования в рамках выполнения государственных заданий и международных проектов, используя комплексный анализ воздействия сельскохозяйственного производства на окружающую среду, оценку экологических рисков и устойчивости агроэкосистем, методы и методики оценки НДТ с учетом основных направлений создания интеллектуальных цифровых технологий.

**Результаты и обсуждение.** Современное развитие сельского хозяйства, основанное на интенсификации производства, создании крупных животноводческих комплексов и агрессивной химизации, осуществляется без должной оценки последствий негативного воздействия на окружающую среду. На примере исследований, проведенных в Северо-Западном федеральном округе видно, что основным источником загрязнения окружающей среды от сельскохозяйственного производства стала утилизация органических отходов (навоза, помета), с которыми связаны примерно 85% рисков от других технологических процессов отрасли [6]. Согласно статистическим данным, перерабатывают и используют только 45% органических отходов (не более 230 млн т в год). Сложившаяся ситуация ведет к ежегодным потерям ценных ресурсов в виде питательных веществ: 2,2 млн т азота, 0,36 млн т фосфора (в переводе на действующее вещество).

Обеспеченность машинами для внесения органических удобрений не превышает 30% (таблица).

Таблица Table		
Оснащенность техникой для внесения органических удобрений в России AVAILABILITY OF MACHINERY FOR INTRODUCING ORGANIC FERTILIZERS IN RUSSIA		
Удобрения Fertilizers	Количество машин, тыс. ед. Actual number of machines, thousand units	Потребность, тыс. ед. Required number of machines, thousand units
Твердые / Solid	4,7	14,9
Жидкие / Liquid	3,6	15,8

Спутниковый и натурный анализ основных объектов накопления и хранения органических удобрений (навозо- и пометохранилищ) показывает, что в большинстве регионов России соответствие данных объектов агротехническим и экологическим требованиям не превышает 50%.

Сложившаяся ситуация требует немедленного объединения научных и производственных усилий.

Для решения вышеописанных проблем в институте разработаны метод проектирования и критерии НДТ утилизации органических отходов животноводства, обеспечивающие выбор адаптивных машинных технологий с учетом природно-климатических, экологических и производственных условий конкретных сельхозпредприятий. Они были успешно апробированы при обосновании технологий и машин, вошедших в российские справочники НДТ 41, 42 по интенсивному разведению свиней и сельскохозяйственной птицы (утверждены приказами Росстандарта №2819 от 13.12.17 и №2667 от 29.11.17). В настоящее время ведется совершенствование ранее разработанной интеллектуальной экспертной системы (компьютерной программы) формирования и выбора машинных технологий утилизации навоза, помета [7-12].

Одно из направлений обеспечения экологической безопасности животноводческих комплексов – создание роботизированных технических средств утилизации органических отходов. Для этого в институте разработан и изготовлен экспериментальный образец биореактора для утилизации органических отходов, способный сократить время переработки навоза и помета в 60 раз по сравнению с традиционными методами, обеспечить автоматизированный контроль протекания и управления технологическим процессом с онлайн-регистрацией производственных и экологических показателей (рис. 1) [13].

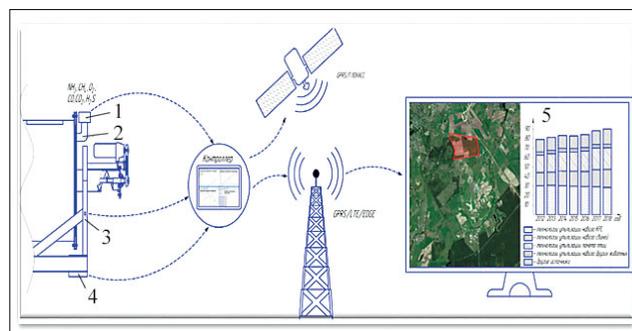


Рис. 1. Интеллектуальная система мониторинга эмиссий загрязняющих веществ, обработки и передачи данных: 1 – блок контроля газового выброса; 2 – вытяжной воздухопровод; 3 – антенна GPS-ГЛОНАСС; 4 – тензометрический датчик; 5 – эмиссии аммиака в окружающую среду, кг/год

Fig. 1. Intelligent system for monitoring emissions of pollutants, data processing and transfer: 1 – gas emission control unit; 2 – Exhaust air duct; 3 – GPS-GLONASS Antenna; 4 – Strain-gauge sensor; 5 – Emissions of ammonia to the environment, kg/year

Институт подготовил рабочую схему создания интеллектуальных систем мониторинга и утилизации органических отходов, позволяющую обеспечить:

- полный автоматизированный контроль выполнения технологического процесса по обращению с навозом;
- получение данных о качестве и количестве пере-



рабатываемого сырья на каждой технологической операции;

- автоматическую логистику распределения органического удобрения по земельным угодьям с учетом потребности сельскохозяйственных культур и дальности транспортировки.

Для решения проблем распределения органических удобрений на уровне областей, регионов разработана математическая модель решения логистических задач на основе экономически и экологических критериев (рис. 2) [14].

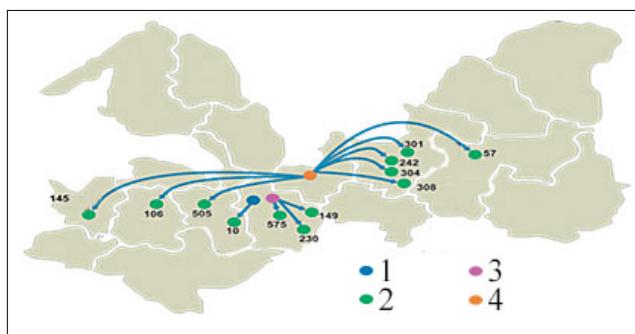


Рис. 2. Иллюстрация реализации модели распределения органических удобрений с учетом эколого-экономического критерия на примере Ленинградской области (тонн азота): 1 – ферма крупного рогатого скота; 2 – растениеводческое предприятие; 3 – свиноводческий комплекс; 4 – птицефабрика  
Fig. 2. Implementation of a distribution model of organic fertilizers taking into account environmental and economic criteria as exemplified by the Leningrad region (tons of nitrogen): 1 – cattle farm; 2 – crop production farm; 3 – pig-breeding farm; 4 – poultry farm

Для регионов и областей, где наблюдается дисбаланс в специализациях сельскохозяйственного производства («растениеводство – животноводство») с превалированием животноводства и избыточным накоплением биогенных элементов, разработана концептуальная схема создания модульных центров по глубокой переработке навоза, помета и другого органического сырья с сельских территорий. Схема позволяет обосновать места размещения центров глубокой переработки, состав технологических и технических решений для получения вторичных ресурсов и товаров из органических отходов с увязкой их дальнейшего использования или отправки внешним потребителям.

Центры глубокой переработки могут стать перспективным производством для получения качественных и востребованных товаров для многих стран мира. Например, согласно расчетам по Ленинградской области, можно производить до 1000 тыс. т высокоэффективных органоминеральных удобрений в год на сумму не менее 10 млрд руб. (рис. 3).

Большую часть своих разработок институт предлагает реализовать при создании одной из демонстра-

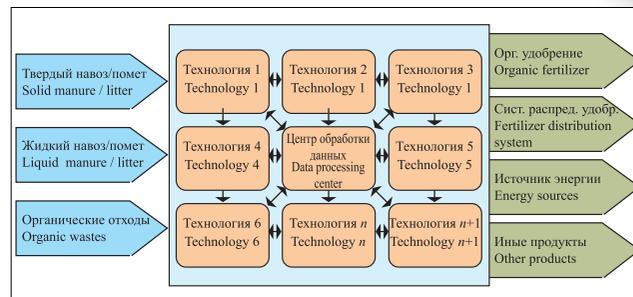


Рис. 3. Концептуальная схема создания модульных центров по глубокой переработке органических отходов сельскохозяйственного производства

Fig. 3. Conceptual framework for establishing modular centers for deep processing of organic agricultural waste

ционно-исследовательских площадок агробиотехнопарка ВИМ на территории Ленинградской области в рамках реализации проекта «Внедрение экологической системы сельского хозяйства – основа для устойчивого развития приграничных сельских районов». В проекте на 2019-2021 гг. запланированы:

- проведение мониторинга экологической обстановки на предприятиях животноводства Ленинградской области;
- разработка плана технологического и технического перевооружения предприятий агропромышленного комплекса в соответствии с требованиями российского и международного природоохранного законодательства и с учетом перспективы перехода на НДТ;
- создание пилотного объекта для демонстрации НДТ утилизации навоза в ЗАО «Племхоз «Первомайское», обеспечивающего охрану окружающей среды;
- разработка интерактивного средства, позволяющего вести мониторинг обращения с отходами животноводства/птицеводства и координировать использование органических удобрений на территории Ленинградской области.

Созданная в рамках проекта демонстрационно-исследовательская площадка позволит представить лучшие научные разработки в сфере НДТ утилизации органических отходов с применением цифровых технологий и продолжить исследования в данном направлении.

Несмотря на высокие результаты в области агроэкологических исследований, проблема обеспечения экологической безопасности сельскохозяйственного производства стоит по-прежнему остро. К важным вопросам агроэкологии можно отнести:

- актуализацию информационно-технических справочников НДТ;
- научное обоснование системы обеспечения экологической безопасности интенсивного животноводства при внедрении НДТ.

Для идентификации НДТ при актуализации справочников необходимо:

- создать базу данных по технологиям в интенсивном животноводстве и птицеводстве Российской Федерации;

- провести теоретические и экспериментальные исследования современных технологий производства животноводческой продукции с целью обоснования технологических нормативов при внедрении НДТ;

- получить независимые достоверные данные о технологиях интенсивного животноводства и птицеводства в пилотных хозяйствах;

- разработать технические решения по утилизации навоза, помета на крупных сельхозпредприятиях (приоритетные направления: создание «замкнутых циклов питательных веществ» на уровне хозяйства, модернизация технологий переработки, транспортировки и внесения органических удобрений);

- совершенствовать нормативно-правовую базу внедрения системы НДТ в интенсивном животноводстве, процедуру получения комплексного экологического разрешения, привлекать профильных экспертов;

- обеспечить финансовую поддержку промышленности и сельхозпроизводителей с целью создания и освоения НДТ, в том числе в направлении утилизации навоза и помета, а также использования органических удобрений на их основе.

Следует принять нормативно-правовые акты, ко-

торые стимулировали бы применение разных типов органических удобрений.

**Выводы.** Актуальными направлениями агроэкологических исследований на ближайшую перспективу станут проекты, связанные: с цифровым мониторингом, созданием «умных» технологий и технических средств, обеспечивающих сбор информации и принятия решений в режиме онлайн; с разработкой новых методов и методик оценки рисков изменения состояния агроэкосистем и обеспечением устойчивого функционирования.

Реализация современных методов обеспечения эффективного и экологически безопасного функционирования сельскохозяйственного производства требует создания опытных площадок для проведения комплексных научных исследований и демонстрации работы системы: машинная технология – мониторинг – управление. Одну из площадок агробиотехнопарка ВИМ предложили создать на пилотном животноводческом комплексе Ленинградской области. Определили перспективные направления исследований для перехода сельскохозяйственного производства на новый технологический уклад, реализующий принципы *Smart Farming* («Умное сельское хозяйство»), позволяющий обеспечить утилизацию не менее 510 млн т в год органических отходов сельхозпроизводства.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шегонов Ю.Х. Развитие интенсивных машинных технологий, роботизированной техники, эффективного энергообеспечения и цифровых систем в агропромышленном комплексе // *Техника и оборудование для села*. 2019. №6(264). С. 2-9.
2. Базыкин В.И., Трифанов А.В. Минимизация негативного воздействия свиноводческих предприятий на окружающую среду // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2018. №10-1(76). С. 22-25.
3. Брюханов А.Ю., Максимов Д.А., Субботин И.А., Васильев Э.В., Шалавина Е.В. Результаты агроэкологических исследований в рамках европейских программ сотрудничества // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. №1(98). С. 236-247.
4. Ковалев Н.Г., Рабинович Г.Ю., Полозова В.Г. Научное обеспечение развития экологически безопасных систем переработки и использования навоза и помета // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2015. №2(18). С. 73-80.
5. Попов В.Д., Максимов Д.А., Брюханов А.Ю. Экологические проблемы сельскохозяйственного производства и их решение в Северо-Западном федеральном округе РФ // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. Т. 7. №4. С. 4-7.
6. Брюханов А.Ю. Обеспечение экологической безопасности животноводческих и птицеводческих предприятий (Наилучшие доступные технологии). СПб.: ИАЭП. 2017. 294 с.
7. Третьякова О.Л., Свиначев И.Ю., Святогоров Н.А., Гревцов О.В. Оценка технологий промышленного свиноводства соответствию критериям наилучших доступных технологий // *Эффективное животноводство*. 2017. №8(138). С. 43-45.
8. Гревцов О.В., Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Щелчков К.А. Энергоэффективность и НДТ: российские и международные подходы // *Молочная промышленность*. 2018. №12. С. 10-12.
9. Мезенцева О.В., Гревцов О.В. Подходы к построению системы регулирования на основе НДТ // *Экология производства*. 2015. №3. С. 44-49.
10. Федоренко В.Ф. Научно-информационное обеспечение инновационного развития сельского хозяйства: состояние и перспективы // *Техника и оборудование для села*. 2017. №5. С. 3-9.
11. Briukhanov A., Vasilev E., Kozlova N., Shalavina E., Subbotin I., Lukin S. Environmental assessment of livestock farms in the context of BAT system introduction in Russia. *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 246. 283-288.
12. Izmaylov A.Yu., Kozhtvnikov Yu.A., Lobachevskiy Ya.P., Marchenko O.S. Effective purification of concentrated organic wastewater from agro-industrial enterprises, problems and methods of solution. AMA. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2018. Vol. 49. №4. 49.
13. Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Уваров Р.А. Логистическая модель управления вторичными ресурсами в АПК (на примере Ленинградской области) // *Экономика сельско-*



хозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2017. N4. С. 38-41.

14. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Федотов А.В., Григорьев В.С., Ценч Ю.С. Адсорбционно-окислительная тех-

нология переработки сточных вод предприятий агропромышленного комплекса // *Вестник Мордовского университета*. 2018. Т. 28. N2. С. 207-221.

## REFERENCES

1. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogonov Yu.Kh. Razvitiy intensivnykh mashinnykh tekhnologiy, robotizirovannoy tekhniki, effektivnogo energoobespecheniya i tsifrovyykh sistem v agropromyshlennom komplekse [Development of intensive machine technologies, robotic machinery, efficient energy supply and digital systems in agriculture]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N6(264). 2-9 (In Russian).

2. Bazykin V.I., Trifanov A.V. Minimizatsiya negativnogo vozdeystviya svinovodcheskikh predpriyatiy na okruzhayushchuyu sredu [Minimizing the negative impact of pig enterprises on the environment]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2018. N10-1(76). 22-25 (In Russian).

3. Briukhanov A.Yu., Maksimov D.A., Subbotin I.A., Vasilev E.V., Shalavina E.V. Rezul'taty agroekologicheskikh issledovaniy v ramkakh evropeyskikh programm sotrudnichestva [Results of agroecological research within the framework of European cooperation programs]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rasteniyevodstva i zhivotnovodstva*. 2019. N1(98). 236-247 (In Russian).

4. Kovalev N.G., Rabinovich G.Yu., Polozova V.G. Nauchnoe obespechenie razvitiya ekologicheskikh bezopasnykh sistem pererabotki i ispol'zovaniya navoza i pometa [Scientific grounds for the development of environmentally friendly systems for the processing and use of manure and litter]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2015. N2(18). 73-80 (In Russian).

5. Popov V.D., Maksimov D.A., Briukhanov A.Yu. Ekologicheskie problemy sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva i ikh resheniye v Severo-Zapadnom federal'nom okruge RF [Environmental problems of agricultural production and their solutions in the North-West Federal District of the Russian Federation]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013. Vol. 7. N4. 4-7 (In Russian).

6. Briukhanov A.Yu. Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti zhivotnovodcheskikh i ptitsevodcheskikh predpriyatiy (Nailuchshie dostupnye tekhnologii) [Ensuring the environmental safety of livestock and poultry enterprises (Best available technologies)]. Saint-Petersburg: IAEP. 2017. 294 (In Russian).

7. Tret'yakova O.L., Svinarev I.Yu., Svyatogorov N.A., Grevtsov O.V. Otsenka tekhnologiy promyshlennogo svinovodstva

sootvetstviyu kriteriyam nailuchshikh dostupnykh tekhnologiy [Evaluation of industrial pig breeding technologies in compliance with the criteria of the best available technologies]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2017. N8(138). 43-45 (In Russian).

8. Grevtsov O.V., Guseva T.V., Molchanova Ya.P., Shchelchikov K.A. Energoeffektivnost' i NDT: rossiyskie i mezhdunarodnye podkhody [Energy efficiency and BAT: Russian and international approaches]. *Molochnaya promyshlennost'*. 2018. N12. 10-12 (In Russian).

9. Mezentseva O.V., Grevtsov O.V. Podkhody k postroyeniyu sistemy regulirovaniya na osnove NDT [Approaches to establishing a regulatory BAT-based system]. *Ekologiya proizvodstva*. 2015. N3. 44-49 (In Russian).

10. Fedorenko V.F. Nauchno-informatsionnoe obespechenie innovatsionnogo razvitiya sel'skogo khozyaystva: sostoyanie i perspektivy [Scientific and informational support for the innovative development of agriculture: current state and prospects]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2017. N5. 3-9 (In Russian).

11. Briukhanov A., Vasilev E., Kozlova N., Shalavina E., Subbotin I., Lukin S. Environmental assessment of livestock farms in the context of BAT system introduction in Russia. *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 246. 283-288 (In English).

12. Izmaylov A.Yu., Kozhtvnikov Yu.A., Lobachevskiy Ya.P., Marchenko O.S. Effective purification of concentrated organic wastewater from agro-industrial enterprises, problems and methods of solution. *AMA. Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2018. Vol. 49 N4. 49 (In English).

13. Briukhanov A.Yu., Shalavina E.V., Uvarov R.A. Logisticheskaya model' upravleniya vtorychnymi resursami v APK (na primere Leningradskoy oblasti) [Logistic model of secondary resource management in farm industry (as exemplified by the Leningrad region)]. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. 2017. N4. 38-41 (In Russian).

14. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Fedotov A.V., Grigoriev V.S., Tsench Yu.S. Adsorbtsionno-okislitel'naya tekhnologiya pererabotki stochnykh vod predpriyatiy agropromyshlennogo kompleksa [Adsorption-oxidative technology of wastewater treatment of agro-industrial enterprises]. *Vestnik Mordovskogo universiteta*. 2018. Vol. 28. N2. 207-221.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 16.08.2019**  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 16.08.2019

**Статья принята к публикации 18.09.2019**  
The paper was accepted  
for publication on 18.09.2019

## Design and Experimental Study on Seed Metering Device of Peanut Plot Seeder

**Wang Dongwei,**  
professor;  
**Wang Jiasheng;**

**Shang Shuqi,**  
professor, e-mail: jiasheng0813@163.com

College of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao, China

**Abstract.** The seed metering device is the key working part of the peanut planter and is placed above the bottom of the seed box or above the opener. The essence of the seed metering process is the effect of the seed meter on the seed, converting the seed from the population into an individual, and converting it into a uniform seed stream or a continuous single seed. The seeding method and quality of the seeding machine depend mainly on the seed metering device. Aiming at the shortage of re-broadcasting rate and missed-out rate during sowing, the different parameters of the air-suction metering device were analyzed, and the seeding performance of the seeding device was tested to obtain the primary and secondary factors affecting the performance of the seeding device, and the quality of seeding was improved.

**Keywords:** peanut; sowing, air suction type seed metering, seed quality.

**For citation:** Dongwei W., Jiasheng W., Shuqi S. Design and experimental study on seed metering device of peanut plot seeder. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 38-41 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-38-41.

## Конструктивно-экспериментальный расчет дозатора семян арахиса в селекционной сеялке

**Ван Донгвей,**  
профессор;  
**Ван Цзяшэн;**

**Шан Шуки,**  
профессор, e-mail: jiasheng0813@163.com

Колледж механики и электротехники, Сельскохозяйственный университет Циндао, Циндао, Китай

**Реферат.** Дозатор семян считается ключевым рабочим органом сеялки арахиса. Он расположен над дном семенного ящика или над сошником. Суть процесса дозирования семян заключается в воздействии дозатора с целью выделения отдельных семян из массы и направления их непрерывным потоком. Способ посева и качество сеялки зависят в основном от работы дозатора семян. Проанализировали параметры пневматического дозирующего устройства, улучшение которых поможет нивелировать такие недостатки, как медленная скорость, сдваивание или пропуски семян при посеве. Определили факторы, влияющие на производительность высеивающего аппарата. Провели необходимые расчеты оптимальных критериев, чтобы улучшить качество посева.

**Ключевые слова:** арахис; посев; пневматическое дозирование семян; качество семян.

**P**eanut is one of the four major oil crops in China. It is an important economic crop and a protein plant with high nutritional value. It plays an important role in world agricultural production [1, 2]. The yield, total output and export volume of peanuts in China rank first among the world's major peanut producers in the same period [3]. It is grown all over China, mainly in Liaoning, Shandong, Hebei, Henan, Jiangsu, Fujian, Guangdong, Guangxi, Sichuan, Jilin and other provinces. Among them, Shandong Province has the largest planting area and the

largest output. With the continuous development of agricultural science and technology, it is constantly developing towards precision agriculture.

Sowing and harvesting is the most time-consuming part of the peanut production process. The outstanding problem at this stage is that the variety of peanut seeding machinery, performance and quality can not fully meet the requirements [4]. The development of planters has accelerated the pace of mechanized agricultural production, liberated the labor force and promoted economic devel-



opment. At present, the mechanization level of peanut planters in China is still different from that in developed countries. Therefore, the development of efficient peanut seeding machinery is becoming more and more important.

Seeding largely determines the quality of the sowing, and the key component of the planter is the design of the seed meter. As an important form of pneumatic precision seed metering device, the air suction type metering device mainly includes horizontal disc type, vertical disc type and combined suction type. At present, the use of peanut seeding devices in China is less used for air suction type seeding devices, and foreign countries have made great progress. The air suction type metering device has strict requirements on seed size, good versatility, high seeding precision, and is suitable for high speed operation. In China, for high-speed operation, the influence of the vacuum degree of the suction chamber of the metering device, the diameter of the suction hole, the rotation speed of the seeding tray, etc., cannot be well designed to design an effective air suction metering device for Precision seeding. Therefore, this paper focuses on the problem and conducts experimental research on the technical parameters of its key components.

### 1 Theoretical analysis of the seed meter

#### 1.1 Establishment of vacuum degree of air suction type metering device

The performance of the metering device depends on the suction vacuum degree. The greater the degree of vacuum, the stronger the ability of the suction hole to adsorb the seed, and it is not easy to cause leakage. However, if the degree of vacuum is too large, the possibility of adsorbing multiple seeds by one suction hole is increased, and replay is generated. In the actual seeding process, the seed meter is affected by the external factors of the seed and the stability coefficient of the work. The maximum value of the vacuum required for the vacuum chamber of the air suction meter is calculated [5].

$$H_{cmax} = \frac{80k_1k_2mgc}{\pi d^3} \left(1 + \frac{v^2}{gR} + \lambda\right), \quad (1)$$

where:  $H_{cmax}$  – the maximum vacuum of the suction chamber, kPa;

$d$  – row of seed hole diameter, cm;

$c$  – the distance between the center of gravity of the seed and the suction tray, cm;

$m$  – the quality of a seed, kg;

$v$  – the linear velocity at the center of the suction hole of the seed disc, m/s;

$R$  – the radius of rotation of the suction hole of the seed disc, m;

$g$  – gravity acceleration, m/s<sup>2</sup>;

$\lambda$  – a comprehensive friction coefficient of friction,  $\lambda = (6\sim 10) \tan \alpha$ ,  $\alpha$  is the natural angle of repose of the seed;

$k_1$  – a species reliability coefficient, taking 1.8~2.0, when the seed 1000-grain weight is small and the shape

is approximately spherical, take a small value;

$k_2$  – the external condition coefficient, which is 1.6~2.0. When the seed dry grain is large, take a large value.

It can be known from formula (1) that the maximum vacuum degree required for the air suction type seed meter and the diameter of the suction hole and the line speed level at the center of the suction hole are physically special.

For different seeds, there is an optimum vacuum range. When the vacuum is reduced, the leak rate will increase, and when the vacuum is too large, the reciprocity will increase. In actual work, due to the influence of pipeline pressure loss and mechanical vibration between the fan and the metering device, the maximum degree of vacuum is taken during design.

#### 1.2 Determination of seed force of air suction metering device

When the seed moves on the seed ring, it will exert a force. When the seed meter works, if the friction is neglected, the seed is mainly subjected to the force of gravity  $G$ , the adsorption force  $F$ , the inertial force  $J$  and the support force of the suction hole to the seed. The role. According to the literature [6], the formula of the adsorption force  $F$  and the inertial force  $J$  is

$$F = \frac{\pi d^2 (p_a - p_1)}{4}; \quad (2)$$

$$J = mR/\omega^2, \quad (3)$$

were:  $p_a$  – atmospheric pressure, Pa;

$p_1$  – vacuum chamber pressure, Pa;

$d$  – sucking hole diameter, m;

$m$  – seed quality, kg;

$R$  – the distance from the center of gravity of the seed to the center of the seed tray, m;

$\omega$  – the angular velocity of the seeding ring, rad/s.

In order for the suction hole to suck the seed, the following conditions should be met.

$$Fd / 2 \geq Th, \quad (4)$$

where:  $T$  – the resultant force of gravity  $G$  and inertial force  $J$ , N;

$h$  –  $T$  to the distance of the suction ring, m.

#### 1.3 metering device housing

The seed meter housing is used to closely cooperate with the seeding ring to form a vacuum chamber, and the device has a device such as a friction reducing device, a sealing device and an air suction pipe interface. The casing and the seed ring are sealed with a wear-reducing seal to prevent air leakage. The suction pipe joint is tightly connected to the casing, and is closely connected with the fan by a rubber pipe to provide vacuum pressure to the seed meter. A pulley is arranged in a section of the outer casing, and is driven by a gearbox to provide power to drive the rotation of the seeding ring for seeding.

#### 1.4 type of hole movement speed

In order to ensure the quality of the seeding, the re-

quirements for the filling of the holes are achieved. For the requirement of filling empty, according to the size of different peanut varieties, the suitable hole filling requirement is found, and the filling time is determined according to the linear velocity of the upper hole of the seed ring. The seed filling process and the accuracy of seeding are determined by the line speed at the hole. If the line speed is too high, when the seed chamber passes through the hole, the time for the seed to enter the hole is shortened, and the seed is not filled in time. Into the type of hole in the seed ring, it will cause leakage. For the filling condition of the seed, from the kinematic point of view, the seed should be filled into the pore in a limited time, and the excess seed can be removed by the seed cleaning device to ensure the precision of the seeding. Depending on the line speed of the hole, the seed enters the hole by gravity. Therefore, according to the free fall motion equation, the ultimate speed of peanut seeds during the filling process can be obtained.

If there is no device that assists in increasing the filling ability, when the line speed exceeds the limit speed of the hole, the filling ability is lowered. In the actual process, the seed meter is driven by the ground wheel, and the ground wheel is powered by the tractor's traction, so the forward speed of the tractor affects the linear speed of the hole. Through the kinematics formula, the forward speed of the tractor is directly proportional to the linear velocity of the hole. The diameter of the seeding ring and the number of holes in the seeding ring affect the speed of the hole. When the linear velocity of the hole is reduced, the diameter of the seed ring and the number of the hole are reduced, the distance between the holes is shortened, and interference occurs between the seeds when the seed is filled, and the diameter of the larger seed ring can be increasing the irrigating distance and filling time greatly improves the ability to replenish.

## 2 Structure design of the seed meter

### 2.1 Structure and principle of the seed meter

The air suction type seed meter is mainly composed of a seeding device, a vacuum chamber, an air suction pipe, a seed cleaning device, a seed room and the like. The seed meter uses a fan to generate a negative pressure for seeding, has a good filling ability, and can operate at a high speed (Fig. 1).

The vacuum chamber of the metering device is connected to the fan suction port to generate a negative pressure in the vacuum chamber.

The seed chamber is connected with the seed ring, relies on the negative pressure generated inside, sucks the seed through the small hole, and uses the transmission system to rotate along with the seed ring. When the seed is transferred out of the vacuum chamber, it is not subjected to negative pressure. The weight or the pusher drops into the seed groove. The seed cleaning device in the upper part of the seed ring removes excess seeds from the suction holes.

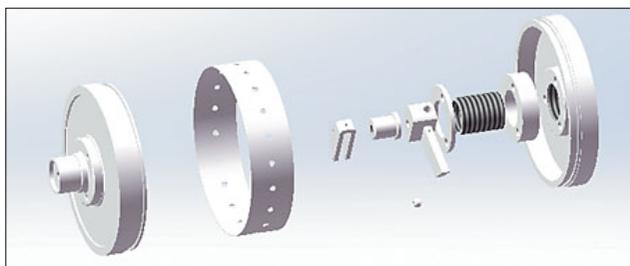


Fig. 1. Rower structure diagram

### 2.2 Design of the seed ring

The seeding ring is the core component of the air suction type metering device, and determining the reasonable structural parameters of the seeding ring is an important condition for ensuring the quality of the seeding. The size of the seed hole affects the performance of the seed meter. As the area of the pore increases, the pressure required for the adsorption of the seed is reduced, the degree of vacuum is reduced, and the seeding performance is gradually increased. When the suction hole is increased to a certain extent, the gas leakage is generated due to the excessive pore size. Decrease, the seeding performance is reduced. The suction hole is too small, and the adsorption force on the seed is insufficient, which may cause leakage. Therefore, the size of the suction hole should be

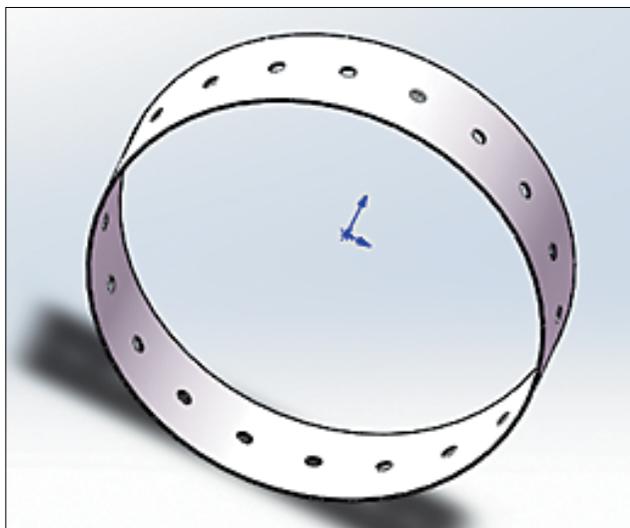


Fig. 2. Seeding ring

designed according to the seed size (Fig. 2).

The number of seed holes also affects the performance of the seed meter. In the case that the number of the seeding holes does not affect the seed filling, seeding, and this parameter is increased as much as possible. As the number of seeding holes increases, the rotation speed of the seeding ring decreases, the filling time is longer, and the seeding performance is gradually increased. As the number of seeding holes increases, the distance between the two holes gradually decreases. After the number of seed holes is increased to a certain extent, the two suction holes cause interference when the seeds are sucked, which causes the seeds



to be confused and the seeding performance is lowered.

The rotation speed of the seed ring is an important factor affecting the seeding. When the rotation speed of the seeding ring is increased, the seeding ability can be improved and the seeding can be accelerated. However, when the rotational speed reaches a certain level, the seed may not be sucked up or the seed may collide, causing the seed to fall off and causing leakage. When the degree of vacuum reaches a certain level, it is difficult to increase at the limit rotation speed, causing difficulty in seeding. A reasonable vacuum should be found within the limit speed range to achieve optimum seeding.

### 2.3 Seeding device

The air suction type seed meter is externally loaded, and the seed chamber is filled on the outside of the seed meter. When the seeding ring rotates and carries the seed through the clearing brush, the excess seed is scraped off and the seed falls to the seed chamber. The seed chamber is spliced by several plastic plates and nested on the seeding ring, and is filled by contacting the seed ring with a felt gasket.

### 2.4 Cleaning methods

The seed cleaning device is an important device for the seed metering device to achieve precise seeding. For the seeding and seeding device, when the seed enters the suction hole for seeding, it may carry excess seeds to cause replay, so it is necessary to design a seed cleaning device to achieve precise seeding. At present, there are many kinds of cleaning devices applied to the seed metering device, such as the scraper type and the brush wheel type seed cleaner, which are suitable for the seeding device in the form of horizontal orifice plate and socket wheel [7]. The squeegee or brush wheel needs to have a spring to maintain a certain elasticity to avoid injury and possibly remove excess seeds. The brush wheel uses its own rotation to brush away excess seeds with the rim. When the air suction type seeding device is broadcasting peanuts,

TEST PERFORMANCE INDEX OF AIR SUCTION TYPE METERING DEVICE			
Project	Missing rate, %	Replay rate, %	Breakage rate, %
Skills requirement	≤8	≤8	≤10
Test results	0.6	0.8	1.0

the cleaning device must not damage the peanut seed coat. Therefore, the soft material brush is used for seed cleaning, and the airflow can be used for seed cleaning.

### 3 Peanut seed meter performance test

#### 3.1 Basic conditions of the test

The peanut seeds used in the experiment were Huashi No. 2. This variety is a new line of high-yield and high-quality traditional large peanuts. The leaves are elliptical, with 19 results per plant and 15 fruit numbers. The pod has a common shape, and the seed is long and elliptical. The rice yield is 76.1%, the fruit weight is 223 g, and the kernel weight is 97.1 g.

#### 3.2 Test results

The technical performance indicators of the seed metering device meet the design requirements and relevant technical standards (Table).

### CONCLUSION

1. The design of the peanut seed meter is an important part of the seeding.
2. Analysis of the leakage rate and re-broadcast rate of peanut seeding, mainly due to factors such as the rotation speed of the seed ring, the structure of the seed meter, the vacuum degree of the vacuum chamber, and the pore size. In this paper, the test parameters of the seed meter are optimized, and the key data of the seed meter is analyzed.
3. The seed meter effectively solves the missed broadcast rate and the replay rate, and improves the efficiency of precision seeding.

### REFERENCES

1. Rongdong Zh. The development of peanut harvesting machinery is imminent. *Agricultural Machinery*. 2004. 9(4). 4-5 (In English).
2. Yuhua W. Research on the Development Strategy of Agricultural Mechanization in China. Beijing: China Agricultural Press. 2008. 126-131 (In English).
3. Xiumei J. Design of 2BHQ-2 Air-suction Peanut Precision Planter. *农业机械*, 2012. 2(8). 97-99 (In Chinese).
4. Xuan L. Design and experiment of the filling type seeding device on the inside of peanut seeder. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2014. 10(28). 47-51 (In English).
5. China Agricultural Machinery Research Institute. Practical Mechanical Design Manual (I). Beijing: Mechanical Industry Press. 1998 (In English).
6. Boping Zh. Modern Planting Machinery Engineering. Beijing: Mechanical Industry Press, 1997 (In English).
7. Qiang Zh. *Agricultural Machinery*. Jilin: Chemical Industry Press. 2016 (In English).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 05.08.2019**  
**The paper was submitted**  
**to the Editorial Office on 05.08.2019**

**Статья принята к публикации 02.09.2019**  
**The paper was accepted**  
**for publication on 02.09.2019**

## Пневматическая система дифференцированного обмолота кукурузы

**Александр Геннадиевич Пастухов,**  
доктор технических наук, профессор кафедры,  
e-mail: pastukhov\_ag@mail.ru;  
**Дмитрий Николаевич Бахарев,**  
кандидат технических наук, доцент кафедры;

**Сергей Федорович Вольвак,**  
кандидат технических наук, профессор кафедры;  
**Руслан Владимирович Черников,**  
преподаватель

Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, п. Майский, Белгородская обл., Российская Федерация

**Реферат.** Дифференцирование величины силового воздействия на початки семенной кукурузы в процессе обмолота минимизирует количество макро- и микроповреждений зерна, что сохраняет потенциал урожайности данной культуры. (*Цель исследования*) Разработать автоматическую систему управления активными пневматическими элементами деки молотильно-сепарирующего устройства, позволяющую дифференцировать силу прижатия шипов к початкам семенной кукурузы в различных зонах молотильной камеры, чтобы снизить травмирование зерна. (*Материалы и методы*) Использовали методы системного анализа, проектирования алгоритмов работы автоматизированных механических систем, электроники и общей электротехники. (*Результаты и обсуждение*) Предложили перспективную конструкцию молотильно-сепарирующего устройства для семенной кукурузы. Укомплектовали ее активной пневматической декой с системой автоматического регулирования силы прижатия независимых друг от друга шипов деки к зерну, находящемуся в початке, непосредственно в процессе обмолота. Для подкачки и спуска воздуха установили два клапана в каждой из 16 пневмоподушек, использовали 32 управляющих реле. Для автоматизации процесса регулирования предусмотрели управление посредством контроллера Atmega 2560 давления в пневмоподушках, прижимающих шипы к зерну в процессе обмолота. Определили принципиальную схему, описывающую алгоритм работы контроллера с блоками управления давлением в пневмоподушках деки. Показали, что благодаря программированию контроллера можно изменять давление в пневмоподушках и тем самым регулировать силы прижатия шипов деки к початкам кукурузы адресно, то есть для любой пневмоподушки в любой части деки. (*Выводы*) Определили, что разрушающее усилие вдавливания 55 ньютонов достигается в определенных вариантах сочетания толщины мембраны, давления в пневмоподушках и глубины вдавливания шипа. Разработали конструкцию молотильного устройства с системой автоматизированного регулирования давления в пневмоподушках деки, позволяющую дифференцировать величину обмолачивающих сил, что минимизирует количество макро- и микроповреждений зерна семенной кукурузы.

**Ключевые слова:** обработка семян, обмолот семенной кукурузы, повреждение зерна, молотильное устройство, управление давлением в пневмоподушках.

■ **Для цитирования:** Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф., Черников Р.В. Пневматическая система дифференцированного обмолота кукурузы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №4. С. 42-47. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-42-47.

## Pneumatic System of Variable-Force Corn Threshing

**Aleksandr G. Pastukhov,**  
Dr.Sc.(Eng.), professor of the department,  
e-mail: pastukhov\_ag@mail.ru;  
**Dmitry N. Bakharev,**  
Ph.D.(Eng.);

**Sergey F. Volvak,**  
Ph.D.(Eng.), professor of the department;  
**Ruslan V. Chernikov,**  
lecturer

Belgorod State Agricultural University named after V.Y. Gorin, Maisky, Belgorod region, Russian Federation

**Abstract.** Differentiation of the force applied to the cobs of seed corn in the process of threshing allows minimizing the amount of macro- and micro-damage to the grain, which maintains the potential yield level of this crop. (*Research purpose*) To develop an automatic control system for active pneumatic elements of the deck of the threshing-and-separating unit capable of varying



the pressing force of the spikes applied to the cobs of seed corn in different parts of the threshing chamber to minimize the crop damage. (*Materials and methods*) The authors have used the methods of system analysis, designing the operating algorithms of automated mechanical systems, electronics and general electrical engineering. (*Results and discussions*) The authors offer an advanced design of the threshing-and-separating unit for seed corn. The design features an active pneumatic deck with an automatic control system varying the pressing force of separate deck spikes to the cob grain directly in the course of threshing. For air inflating and lowering, two valves are installed in each of the 16 airbags, 32 control relays being used. The operation process is automatized through the Atmega 2560 controller regulating the amount of pressure in the airbags forcing the spikes against the grain in the process of threshing. The authors propose a schematic diagram describing the operation algorithm of the controller with pressure control units in deck airbags. By programming the controller, an operator can change the amount of pressure in the airbags, thus adjusting the force of direct and precise pressing the deck spikes to the corn cobs, for any airbag and in any part of the deck. (*Conclusions*) It has been determined that the destructive pressing force of 55 Newtons can be achieved in certain combinations of the membrane thickness, the pressure in the airbags and the pressing depth of the spikes. The proposed design of the threshing device with a system of automated pressure control in the deck airbags allows varying the force of threshing, which minimizes the amount of macro- and micro-damage to the seed corn grain and thus maintains the potential yield level of this crop.

**Keywords:** grain threshing, seed corn threshing, grain damage, threshing-and-separating unit, airbag pressure control.

**For citation:** Pastukhov A.G., Bakharev D.N., Volvak S.F., Chernikov R.V. Pnevmaticheskaya sistema differentsirovannogo obmolota kukuruzy [Pneumatic system of variable-force corn threshing]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 42-47 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-42-47.

**П**очатки семенной кукурузы обмолачивают в стационарных условиях перерабатывающего цеха и после предварительной сушки, для чего используют молотильно-сепарирующие устройства (МСУ).

К сожалению современным МСУ отечественного и зарубежного производства присущи недостатки: высокая материалоемкость, значительная энергоемкость процесса обмолота и нанесение зерну большого количества макро- и микроповреждений [1, 2]. Материалоемкость снижают, применяя полимерные материалы. Энергоемкость процесса сокращают, оптимизируя режимы работы МСУ. Однако проблема нанесения зерну кукурузы макро- и микроповреждений в процессе обмолота не решена [3-5].

**Цель исследования** – разработать автоматическую систему управления активными пневматическими элементами деки молотильно-сепарирующего устройства, позволяющую дифференцировать силу прижатия шипов к початкам семенной кукурузы в различных зонах молотильной камеры, чтобы снизить травмирование зерна.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Использовали методы системного анализа, построения алгоритмов работы автоматизированных систем и разработки принципиальных электрических схем устройств управления.

Механические повреждения зерна, особенно в области зародыша, приводят к существенным недоборам урожая кукурузы. Например, если таким образом повреждены 20% зерен кукурузы, то потери урожая составят 3,1-4,0 ц/га, а при 30% – 4,7-5,4 ц/га [1, 4]. Анализ работы различных МСУ в производственных условиях показал, что рабочие органы, контактируя с початками кукурузы, наносят макро- и микроповреждения поверхностям и зародышу в зерне по следующим причинам [4-6]:

- отсутствие системы ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот;

- использование пассивных участков деки с жестко закрепленными шипами;

- управление величиной силового воздействия рабочих органов на зерно только путем изменения частоты вращения ротора в узком диапазоне и регулировки зазоров в камере обмолота;

- нерациональные режимы обмолота.

В конструкциях промышленных образцов МСУ эту проблему решают, применяя различные способы и устройства:

- двухступенчатый обмолот в независимых молотильных системах, установленных последовательно;

- ротор с лопастями переменной кривизны, наносящими удары разной силы и интенсивности;

- дека с чередующимися пассивными и активными (подпружиненными) участками;

- многоступенчатые деки;

- дискретное изменение скорости движения початков вдоль оси ротора;

- деки с шипами специальной формы, обеспечивающие рациональное распределение обмолачивающих сил по поверхности зерна.

В результате анализа конструктивно-технологических параметров и принципов работы существующих МСУ выявили отсутствие конструкций, в которых реализовано сразу несколько (более трех) путей дифференцирования механического силового воздействия на зерно.

Кроме того, не решен вопрос управления силовым воздействием рабочих органов на зерно в початках в ходе изменения силы прижатия независимых друг от друга шипов деки к зерну непосредственно в процессе обмолота.

Для решения данных задач предложили конструкцию нового МСУ, патент RU 171115 (рис. 1).

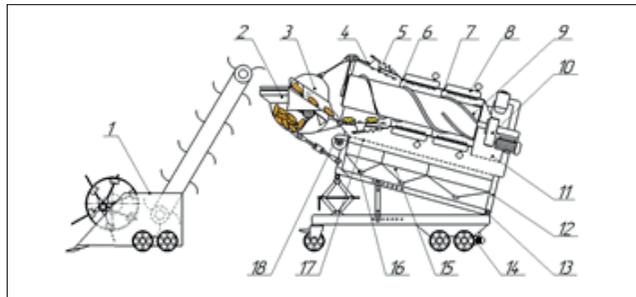


Рис. 1. Схема молотильно-сепарирующего устройства для початков семенной кукурузы с активными элементами деки: 1 – погрузчик; 2 – приемный бункер; 3 – ориентирующе-дозировочное устройство; 4 – приемная часть деки; 5 – разрезной шипованный конус; 6, 7 – цилиндрические основная и домлачивающая части деки; 8 – пневматические подушки; 9 – ротор; 10 – привод ротора; 11 – выгрузная горловина для обмолоченных стержней; 12 – рама; 13 – механизм изменения угла камеры обмолота относительно горизонта; 14 – поворотная ходовая часть с электроприводом; 15 – бункер для зерна; 16 – горловина с заслонкой; 17 – сепарирующая часть с решетом; 18 – вентилятор

Fig. 1. Structural diagram of the threshing-and-separating unit for the cobs of the seed corn with active elements of the deck: 1 – loader; 2 – receiving hopper; 3 – orienting metering device; 4 – receiving part of the deck; 5 – split studded cone; 6, 7 – cylindrical deck parts – for main and finish threshing; 8 – airbags; 9 – rotor; 10 – rotor drive; 11 – unloading pipe for threshed stalks; 12 – frame; 13 – levelling mechanism for changing the installation angle of the threshing chamber; 14 – rotary chassis with electric drive; 15 – grain hopper; 16 – pipe with a valve; 17 – separating unit with a sieve; 18 – fan

Новое МСУ работает следующим образом. Погрузчик подает початки кукурузы в приемный бункер с ориентирующе-дозировочным загрузочным устройством. Там лопатки, приводимые в движение тяговым рабочим органом, захватывают початки, ориентируют их в пространстве параллельно оси ротора и подают в приемную зону деки, где початки подхватываются пластинчатой многозаходной навивкой ротора и совершают винтовое движение (Патент RU 180093).

В результате винтового движения початки кукурузы попадают в клин, образованный разрезным шипованным конусом приемной зоны, где они взаимодействуют с шипами и частично обмолачиваются. Зерно выводится из камеры обмолота через прорезы в деке. Поскольку каждый участок конуса подпружинен и выполнен с возможностью перемещения под действием обмолачиваемой массы в радиальном направлении, в камере обмолота происходит увеличение зазора, что позволяет отделить зерно от стержня без повреждений.

Отсутствие повреждений в приемной части обу-

словлено еще и тем, что упругость пружин и диаметр оснований конуса, образованного подпружиненными участками, можно регулировать – как в процессе настройки, так и непосредственно при обмолоте. Для полного обмолота початки кукурузы после приемной зоны подают в цилиндрические зоны деки – сначала в основную, а затем в домлачивающую.

В этих зонах прутковая многозаходная навивка ротора обеспечивает винтовое перемещение початков. Они взаимодействуют с независимыми друг от друга подвижными шипами, прижатыми несколькими отдельными пневматическими подушками с гибким резиновым дном. В основной и домлачивающей зонах деки происходит как полное отделение зерна от стержней, так и эффективное разделение зерностержневой смеси.

Независимые шипы, прижатые пневматическими подушками, исключают повреждение зерна при обмолоте, поскольку в процессе пусконаладочных работ и непосредственно при обмолоте можно полностью регулировать силу воздействия шипов на зерно, изменяя давление в подушках.

Ротор приводят в движение от электродвигателя. Обмолоченные стержни выводят через горловину. Камера обмолота выполнена на раме, которая оснащена механизмом изменения угла наклона относительно горизонта. Обмолоченное зерно накапливают в бункере, горловину которого перекрывают заслонкой. Отверстия решета, установленного в верхней части бункера, продувают посредством вентилятора для отделения от зерна легких примесей.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Эффективность управления величиной силового воздействия рабочих органов на зерно посредством изменения силы прижатия независимых друг от друга шипов деки к зерну, находящемуся в початках кукурузы, непосредственно в процессе обмолота возрастает, если реализовать возможность автоматизированного или роботизированного управления давлением в пневмоподушках [7].

Каждую пневмоподушку следует рассматривать как отдельный элемент. В данном случае опытное МСУ необходимо оснастить автомобильным аккумулятором, компрессором и программируемой системой автоматического контроля давления в подушках [7, 8]. Процесс управления заключается в следующем. При обмолоте часть зерна повреждается: чем более жестко пневмоподушки прижимают шипы к зерну, тем больше повреждений. Изменяя давление в пневмоподушках, можно снизить этот показатель. Рекомендуются устанавливать не менее 8 пневмоподушек на каждую из цилиндрических частей деки. Во всех подушках можно обеспечить разное давление, оптимальное для конкретного этапа обмолота (рис. 2). Для эффективности управления качеством обмолота в каждую пневмоподушку устанавливают датчик давления с резистивным чувствительным элементом и два

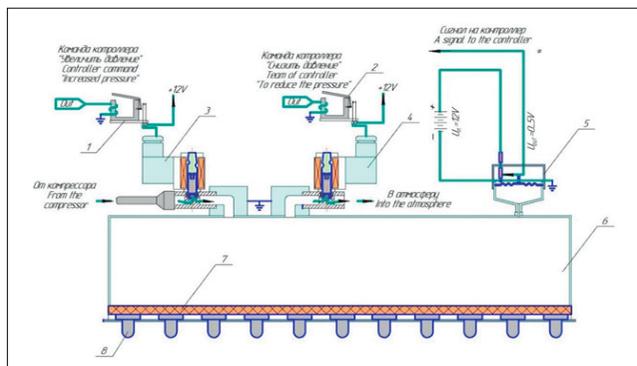


Рис. 2. Схема процесса регулирования давления в пневмоподушках деки молотильно-сепарирующего устройства:

1, 2 – реле; 3 – впускной клапан; 4 – выпускной клапан; 5 – датчик давления с резистивным чувствительным элементом; 6 – пневмоподушка; 7 – гибкая мембрана; 8 – шип

Fig. 2. Diagram of the airbag pressure control process in the threshing-and-separating unit

1, 2 – relays; 3 – inlet valve; 4 – outlet valve; 5 – pressure sensor with a resistive sensing element; 6 – airbag; 7 – flexible membrane; 8 – spike

электроклапана, один из которых предназначен для спуска давления в атмосферу, а второй – для подачи воздуха от компрессора с целью увеличения давления в подушке.

Положение мембраны зависит от давления в пневмоподушке и соответствует определенной силе прижатия шипов к початкам. Давление фиксируется как переменная величина в программе контроллера. Если оператор на пульте управления задает значение

давления в конкретной подушке меньше фактического, то контроллер, реагируя на положение мембраны, дает команду на переход электроклапана в положение «Снизить давление» (давление сбрасывается в атмосферу). Если оператор задает давление в конкретной подушке больше фактического, контроллер включает компрессор, который осуществляет подкачку, при этом электроклапан переходит в положение «Увеличить давление». Для подкачки и спуска воздуха следует управлять двумя клапанами в каждой из 16 пневмоподушек, для этого предусмотрены 32 управляющих реле. Для данной системы управления с последующим подключением ее к компьютеру рационально использовать микроконтроллер *Atmega 2560*, который быстро и эффективно реализует заданный алгоритм регулировки давления в пневмоподушках [9-13]. Так как сигналы считывают по каждой пневмоподушке отдельно, то и регулировку давления можно осуществлять адресно, то есть для каждой конкретной пневмоподушки.

Давление в пневмоподушке, толщина резины ее гибкого дна, глубина вдавливания пятки шипа в подушку и сила прижатия шипа к початку взаимосвязаны между собой. Для установления данной взаимосвязи провели экспериментальные исследования (таблица). По этим данным оператор программирует контроллер и добивается требуемого результата по показателю макро- и микроповреждений зерна при обмолоте.

Таблица		Table									
Сила вдавливания шипа в зависимости от толщины мембраны, давления в пневмоподушках и глубины вдавливания, Н PRESSING FORCE OF A SPIKE DEPENDING ON THE MEMBRANE THICKNESS, THE PRESSURE IN THE AIR BAGS AND THE PRESSING DEPTH, N											
Толщина резины, мм Rubber thickness, mm	Давление, атм./ Pressure, atm	Глубина вдавливания шипа, мм Pressing depth of a spike, mm									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0,4	2,96	7,54	11,18	16,15	20,33	24,38	28,61	33,06	36,81	41,84
2	0,5	4,26	11,54	18,25	25,03	30,45	36,74	41,87	46,47	50,96	**
2	0,6	5,84	13,81	21,76	29,74	38,06	45,85	53,22	**	**	**
3	0,4	4,99	11,09	16,72	22,18	27,43	32,7	38,23	**	**	**
3	0,5	6,53	11,89	19,04	26,66	32,51	40,68	46,97	**	**	**
3	0,6	8	16,53	24,79	33,79	43,19	**	**	**	**	**
4	0,4	5,93	12,97	19,48	24,72	30,59	36,21	42,36	48,5	**	**
4	0,5	7,46	17,02	25,54	34,32	42,61	48,63	**	**	**	**
4	0,6*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

\* При толщине резиновой подошвы 4 мм и давлении 0,6 атм. шипы перестают вдавливаться в пневмоподушку и дифференцирование обмолачивающих сил прекращается.  
 \*\* Достигается разрушающее усилие вдавливания 55 Н.  
 \* With a rubber sole thickness of 4 mm and a pressure of 0.6 atm., the spikes cease to be pressed into the airbag and the threshing forces equalize.  
 \*\* A breaking force of 55 N is achieved.

### Выводы

1. Аксиально-роторное МСУ с системой автоматизированного регулирования величины обмолачивающих сил повышает возможности дифференцированного обмолота початков семенной кукурузы. Выявили, что при толщине резиновой подошвы 4 мм и давлении 0,6 атм. шипы перестают вдавливать пневмоподушку и дифференцирование обмолачивающих сил прекращается. Разрушающее усилие вдавливания 55 Н достигается в определенных вариантах сочетания толщины мембраны, давления в пневмоподушках и глубины вдавливания шипа.

2. Автоматизация регулирования величины обмолачивающих сил достигается:

- применением деки, укомплектованной шипами, прижимаемыми к початкам посредством 16 независимых пневмоподушек с разным давлением внутри;
- программированием схемы распределения величин давления в каждой независимой пневмоподушке;
- управлением процессом посредством электроклапанов пневмоподушек, получающих обработанные микроконтроллером *Atmega 2560* сигналы от ре-

зистивных датчиков давления.

3. Перспективная конструкция МСУ создает условия для снижения показателя макро- и микроповреждений зерна в процессе обмолота початков кукурузы и сохранения потенциала урожайности культуры.

*Публикация является результатом исследований, проводимых в соответствии с федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017-2025 гг. (Постановление Правительства РФ от 25 августа 2017 г. № 996) и направленных на результативность реализации программы по показателю увеличения числа эффективных технологий обмолота семенной кукурузы.*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф. Бионические основы разработки и конструирования эффективных шипов молотильно-сепарирующих устройств для кукурузы // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2017. N3(15). С. 3-13.
2. Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф. Обоснование конструкции рабочих органов ориентирующе-дозировочного устройства для початков кукурузы // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2018. N1(17). С. 3-16.
3. Капустин С.И., Ковтун Н.В., Капустин А.С., Бахарев Д.Н. Сортовая технология кукурузы. Луганск: ЛНАУ. 2013. 196 с.
4. Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф., Пастухов А.Г. Бионические основы конструирования молотильно-сепарирующих систем для початков кукурузы. Майский: Белгородский ГАУ. 2018. 168 с.
5. Труфляк Е.В., Кравченко В.С., Гончарова И.А. Изучение механического повреждения початка кукурузы при его отрыве в кукурузоуборочной жатке // *Научный журнал КубГАУ*. 2008. N38(4). С. 1-11.
6. Петунина И.А. Очистка и обмолот початков кукурузы. Краснодар: КубГАУ. 2007. 525 с.
7. Рунов Б.А. Применение робототехнических средств в АПК // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. Т. 10. N2. С. 44-47.
8. Иванов Ю.А. Направления научных исследований по

созданию инновационной техники с интеллектуальными системами для животноводства // *Вестник ВНИИМЖ*. 2014. N3. С. 4-17.

9. Сыроватка В.И. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами производства комбикормов в хозяйствах // *Вестник ВНИИМЖ*. 2013. N2(10). С. 48-60.

10. Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г. Разработка микропроцессорных систем автоматического управления работой светодиодных облучательных установок // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017. N4(53). С. 72-80.

11. Жалнин Э.В., Ценч Ю.С., Пьянов В.С. Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т.12. N2. С. 4-8.

12. Бейлис В.М., Ценч Ю.С., Коротченя В.М., Старовойтов С.И., Кынев Н.Г. Тенденции развития прогрессивных машинных технологий и техники в сельскохозяйственном производстве // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N4(33). С. 150-156.

13. Трубилин Е.И., Сапрыкин В.Ю., Труфляк Е.В. Однорядный кукурузоуборочный комбайн для уборки початков сахарной кукурузы // *Техника и оборудование для села*. 2013. N8. С. 26-28.

### REFERENCES

1. Bakharev D.N., Volvak S.F. Bionicheskie osnovy razrabotki i konstruirovaniya ehffektivnykh shipov molotilno-separiruyushchikh ustroystv dlya kukuruzy [Bionic basics for the development and design of effective spikes for corn threshing and separating units]. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*. 2017. N3(15). 3-13 (In Russian).



2. Bakharev D.N., Volvak S.F. Obosnovanie konstruksii rabochikh organov orientiruyushche-doziruyushchego ustroystva dlya pochatkov kukuruzy [Rational for the design of the working elements of the orienting- and metering device for corn cobs]. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*. 2018. N1 (17). 3-16 (In Russian).

3. Kapustin S.I., Kovtun N.V., Kapustin A.S., Bakharev D.N. Sortovaya tekhnologiya kukuruzy: monografiya [Corn variety technology: Monograph]. Lugansk: LNAU. 2013. 196 (In Russian).

4. Bakharev D.N., Vol'vak S.F., Pastukhov A.G. Bionicheskie osnovy konstruirovaniya molotil'no-separiruyushchikh sistem dlya pochatkov kukuruzy: monografiya [Bionic basics for the design of threshing and separating systems for corn cobs: Monograph]. Maiskiy: Belgorodskiy GAU. 2018. 168 (In Russian).

5. Truflyak E.V., Kravchenko V.S., Goncharova I.A. Izucheniye mekhanicheskogo povrezhdeniya pochatka kukuruzy pri ego otrывe v kukuruzoborochnoy zhatke [Study of mechanical damage to a corn cob separated in the corn harvester]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*. 2008. N38 (4). 1-11 (In Russian).

6. Petunina I.A. Ochistka i obmolot pochatkov kukuruzy. Monografiya [Cleaning and threshing of corn cobs: Monograph]. Krasnodar: KubGAU. 2007. 525 (In Russian).

7. Runov B.A. Primeneniye robototekhnicheskikh sredstv v APK [The use of robotic tools in agriculture]. *Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. N2. 44-47 (In Russian).

8. Ivanov Yu.A. Napravleniya nauchnykh issledovaniy po sozdaniyu innovatsionnoy tekhniki s intellektual'nymi sistemami dlya zhitovnovodstva [Directions of research on the development of innovative technological intelligent systems for livestock]. *Vestnik VNIMZH*. 2014. N3. 4-17 (In Russian).

9. Syrovatka V.I. Intellektualnye sistemy upravleniya tekhnologicheskimi protsessami proizvodstva kombikormov v khozyaystvakh [Intellectual control systems of technological processes of mixed feed production in farm enterprises]. *Vestnik VNIMZH*. 2013. N2(10). 48-60 (In Russian).

10. Kondratieva N.P., Bol'shin R.G., Krasnolutsкая M.G. Razrabotka mikroprocessornykh sistem avtomaticheskogo upravleniya rabotoy svetodiodnykh obluchatel'nykh ustanovok [Development of microprocessor-based automatic control systems for LED irradiation plants]. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2017. N4 (53). 72-80 (In Russian).

11. Zhalnin E.V., Tsench Yu.S., P'yanov V.S. Metodika analiza tekhnicheskogo urovnya zernoborochnykh kombaynov po funktsional'nym i konstruktivnym parametram [Methods of analysis of the technical level of combine harvesters on functional and structural parameters]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. V. 12. N2. 4-8 (In Russian).

12. Beylis V.M., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M., Starovoytov S.I., Kynev N.G. Tendentsii razvitiya progressivnykh mashinnykh tekhnologiy i tekhniki v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Trends in the development of progressive machine technologies and machinery in agriculture]. *Vestnik VIESH*. 2018. N4(33). 150-156 (In Russian).

13. Trubilin E.I., Saprykin V.Yu., Truflyak E.V. Odnoryadnyy kukuruzoborochnyy kombayn dlya uborki pochatkov sakharnoy kukuruzy [Single row corn harvester for harvesting ears of sweet corn]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2013. N8. 26-28 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 15.02.2019  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 15.02.2019

Статья принята к публикации 03.04.2019  
The paper was accepted  
for publication on 03.04.2019

## Трехъярусное внесение удобрений тукопроводом-распределителем глубокорыхлителя

**Фармон Муртозевич Маматов<sup>1</sup>**,  
доктор технических наук, профессор,  
e-mail: fmamatov50@mail.ru;  
**Зафар Лутфуллаевич Батиров<sup>1</sup>**,  
доктор технических наук;

**Мухтор Сувонович Халилов<sup>1</sup>**,  
ассистент;  
**Ермамат Бердикулович Холияров<sup>2</sup>**,  
кандидат технических наук

<sup>1</sup>Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан;

<sup>2</sup>Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, г. Ташкент, Узбекистан

**Реферат.** Показали, что применяемые способы внесения удобрений под хлопчатник в Узбекистане не обеспечивают в полной мере поступление питательных веществ в корневую систему растения. Если распределить удобрения в зоне развития корней ярусно и в нужном соотношении, то коэффициент их использования повышается, увеличивается урожайность хлопчатника. (*Цель исследования*) Обосновать конструктивные параметры тукопровода-распределителя глубокорыхлителя для трехъярусного внесения удобрений. (*Материалы и методы*) Представили конструкцию разработанного тукопровода-распределителя для трехъярусного внесения удобрений. Глубокорыхлитель снабдили тукопроводом-распределителем, который состоит из цилиндрической и наклонной воронкообразной части, тукопроводящего канала и нижнего распределителя туков. В тукопроводящем канале установили два патрубка с отражательными пластинами, которые рассекают движущиеся удобрения и направляют их в соответствующий горизонт почвы. (*Результаты и обсуждение*) Исследовали движение гранул минеральных удобрений по тукопроводящему каналу. Изучили влияние длины выступающей части отражательных пластин патрубков и угла наклона воронки тукопровода-распределителя на распределение удобрений и на неравномерность поступления удобрений в верхний, средний и нижний ярусы. Рассчитали параметры загрузочной воронки вертикального тукопровода, патрубков и подвижных пластин верхнего и среднего ярусов, рассеивателя удобрений нижнего яруса. (*Выводы*) Доказали, что качественное распределение минеральных удобрений на заданных глубинах внесения верхнего и среднего ярусов обеспечивается при длине их патрубков 260 и 240 миллиметров и выступающей части отражательных пластин тукопроводящего канала 26-30 миллиметров и 33-37 миллиметров соответственно. При этом 40-45 процентов удобрений распределяется в нижний, то есть третий ярус. Выбрали рациональные параметры нижнего рассеивателя удобрений: угол наклона желобка в продольно-вертикальной плоскости – 17-19 градусов; угол наклона желобка в поперечно-вертикальной плоскости – 29 градусов; высота заднего обреза желобка в средней части – 2,5 миллиметра, в конце – 0,5 миллиметра.

**Ключевые слова:** глубокорыхлитель, тукопровод-распределитель, трехъярусное внесение удобрений.

■ **Для цитирования:** Маматов Ф.М., Батиров З.Л., Халилов М.С., Холияров Е.Б. Трехъярусное внесение удобрений тукопроводом-распределителем глубокорыхлителя // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №4. С. 48-53. DOI 10.22314.2073-7599-2019-13-4-48-53.

## Three-Tiered Fertilizer Application with a Spreading Funnel of a Subsoil Tiller

**Farmon M. Mamatov<sup>1</sup>**,  
Dr.Sc.(Eng.), professor, e-mail: fmamatov50@mail.ru;  
**Zafar L. Batirov<sup>1</sup>**,  
Dr.Sc.(Eng.);

**Mukhtor S. Khalilov<sup>1</sup>**,  
assistant professor;  
**Jormamat B. Kholiyarov<sup>2</sup>**,  
Ph.D.(Eng.)

<sup>1</sup>Karshi Engineering-Economics Institute, Karshi, Uzbekistan;

<sup>2</sup>Tashkent Institute of Irrigation and Farm Mechanization Engineers, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract.** The authors have shown that current methods of soil fertilizing for growing cotton crops in Uzbekistan do not ensure the full supply of nutrients to the root system of plants. Providing the required amount of fertilizers is distributed in tiers in the zone of root development, the ratio of their use and cotton yield will increase. (**Research purpose**) To determine the design parameters



of a spreading funnel of a subsoil tiller for three-tiered fertilizer application. (*Materials and methods*) The paper provides a design of the developed spreading funnel for three-tier fertilizer application. A subsoil tiller is equipped with a spreading funnel, which consists of a cylindrical and inclined funnel-shaped part, a conductive channel and a lower distributor. Installed in the conductive channel are two branch pipes with reflective plates that cut through the supplied fertilizers and direct them to the corresponding soil horizon. (*Results and discussion*) The authors have studied the movement of mineral fertilizer granules along the conductive channel; experimentally analyzed the effect of the length of the protruding part of reflective plates of the nozzle and the inclination angle of the funnel spreading pipeline on the distribution of fertilizers and the unevenness of fertilizer supply to the upper, middle and lower tiers. They have also determined the parameters of an intake funnel of the vertical pipeline, branch pipes and movable plates of the upper and middle tiers, and a fertilizer spreader of the lower tier. (*Conclusions*) The authors have proved that the qualitative distribution of mineral fertilizers at predetermined application depths of the upper and middle tiers is ensured at a length of their nozzles of 260 and 240 millimeters and the protruding part of the reflective plates of the fertilizer channel of 26-30 millimeters and 33-37 millimeters, respectively. At the same time, 40-45 percent of fertilizers is distributed in the lower, i.e. the third tier. The authors have chosen optimal parameters of the lower spreading funnel: a groove inclination angle in the longitudinal-vertical plane of 17-19 degrees; a groove inclination angle in the transverse vertical plane of 29 degrees; a rear edge height of the groove in the middle part of 2.5 millimeters, and at the end – 0.5 millimeters.

**Keywords:** subsoil tiller, fertilizer spreading funnel, three-tiered application of fertilizers.

■ **For citation:** Mamatov F.M., Batirov Z.L., Khalilov M.S., Kholiyarov J.B. Trekh'yarusnoe vnesenie udobreniy tukoprovodom-raspredelitelem glubokorykhlitelya [Three-tiered fertilizer application with a spreading funnel of a subsoil tiller]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 48-53 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-48-53.

**П**рименение минеральных и органических удобрений – один из основных факторов повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Доказано, что не менее половины прироста урожайности получают в результате использования удобрений [1-3].

В условиях рыночной экономики необходимо обеспечить максимальную отдачу каждого килограмма удобрений. Однако современная система внесения удобрений имеет ряд существенных недостатков. Она не отвечает основному принципу агрохимии: питать растения, а не сорняки и почву. Из-за несовершенства техники и технологии подготовки почвы к посеву и локальному внесению удобрений, низкой культуры земледелия коэффициент использования азота составляет лишь 0,60-0,65, фосфора – 0,15-0,20.

Для традиционных технологий подготовки почвы к посеву характерны низкая производительность труда, повышенная трудоемкость процессов, требуется большой объем технических средств, происходит уплотнение почвы, затягиваются сроки ее подготовки. Почва интенсивно высушивается, что влечет за собой снижение урожайности. Наиболее перспективны технологии подготовки почвы к посеву и внесение удобрений за один проход агрегата [4-11].

Предложили новый способ возделывания хлопчатника, обеспечивающий максимальное использование вносимых удобрений. Сущность предложенного способа заключается в следующем. Осенью после уборки стеблей хлопчатника в местах посевных рядков проводят глубокое рыхление с одновременным трехслойным внесением удобрений и формированием гребней. Существующий глубокорыхлитель-удо-

бритель снабжается туковыми сошниками для послойного внесения удобрений под формируемые гребни с междурядьем 60 или 90 см. Удобрения вносят в верхний слой на глубину 16-18 см лентой шириной 2,5-3,0 см, в средний слой – на глубину 28-30 см лентой шириной 2,5-3,0 см, в нижний слой – на глубину 40-45 см лентой шириной 20-25 см.

**Цель исследования** – обосновать конструктивные параметры тукопровода-распределителя глубокорыхлителя для трехъярусного внесения удобрений.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Предложили новый способ возделывания хлопчатника, обеспечивающий максимальное использование вносимых удобрений. Осенью после уборки стеблей хлопчатника в местах посевных рядков проводят глубокое рыхление с одновременным трехслойным внесением удобрений и формированием гребней. Существующий глубокорыхлитель-удобритель снабжается туковыми сошниками для послойного внесения удобрений под формируемые гребни с междурядьем 60 или 90 см. Удобрения вносят в верхний слой на глубину 16-18 см лентой шириной 2,5-3,0 см, в средний слой – на глубину 28-30 см лентой при той же ширине, в нижний слой – на глубину 40-45 см лентой шириной 20-25 см.

Для трехъярусного внесения удобрений мы разработали тукопровод-распределитель глубокорыхлителя (рис. 1). В процессе работы глубокорыхлителя из дозирующего устройства через цилиндрическую часть тукопровода минеральные удобрения поступают к его наклонной воронкообразной части и перемещаются вниз по ней в тукопроводящий канал. Там определенная часть удобрения, отражаясь, пластинками, по патрубкам направляется в соответствующие

горизонты почвы. Остальная часть удобрений при помощи рассеивателя равномерно распределяется по ширине рыхлящего рабочего органа (Патент UZNFAP00788).

Тукопровод глубокорыхлителя-удобрителя должен отвечать следующим основным требованиям:

- удобная компоновка за рыхлительным рабочим органом глубокорыхлителя;
- качественное распределение минеральных удобрений на заданных глубинах;
- минимальное тяговое сопротивление.

Исходя из этих требований обоснованы основные параметры воронки вертикального тукопровода, патрубков и подвижных пластин верхнего и среднего ярусов, рассеивателя удобрений нижнего яруса тукопровода-распределителя.

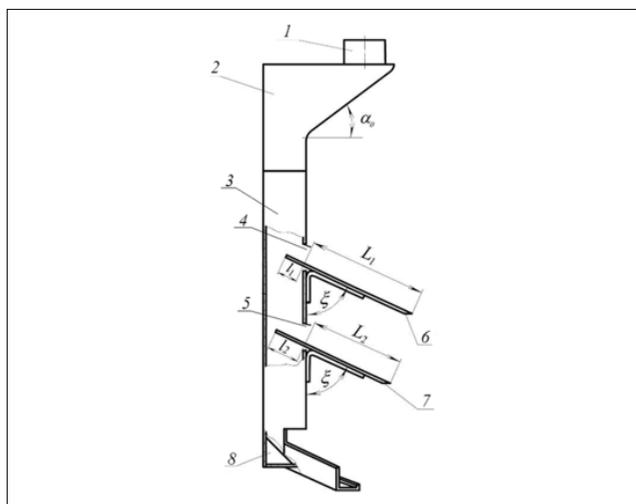


Рис. 1. Схема тукопровода-распределителя для трехъярусно-го внесения удобрений

1 – соединительный цилиндр; 2 – воронка; 3 – тукопроводящий канал; 4, 5 – патрубки; 6, 7 – подвижные отражательные пластины; 8 – рассеиватель;  $L_1$  – длина патрубка верхнего яруса;  $L_2$  – длина патрубка нижнего яруса;  $l_1$  – длина выступающей части отражательной пластины патрубка верхнего яруса;  $l_2$  – длина выступающей части отражательной пластины патрубка нижнего яруса;  $\alpha_0$  – угол наклона воронки;  $\zeta$  – угол наклона отражателя к вертикали

Fig. 1. Design of a spreading funnel for three-tiered application of fertilizers

1 – a connecting cylinder; 2 – a funnel; 3 – a fertilizer channel; 4, 5 – branch pipes; 6, 7 – movable reflective plates; 8 – a diffuser;  $L_1$  – length of the upper tier pipe;  $L_2$  – length of the lower tier pipe;  $l_1$  – length of a protruding part of the reflective plate of the upper tier pipe;  $l_2$  – length of a protruding part of the reflective plate of the lower tier pipe;  $\alpha_0$  – inclination angle of the plane, an inclined part of the funnel;  $\zeta$  – inclination angle of the reflector to the vertical

Теоретические исследования проводили с применением основных положений теоретической механики, математического анализа и математической ста-

тистики, экспериментальные исследования – с использованием специально разработанного стенда на почвенном канале и в полевых условиях с помощью скоростной кино съемки, в соответствии с нормативными документами испытаний сельскохозяйственной техники.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Длина патрубков для обеспечения ярусного расположения туков в почве должна быть такой, чтобы удобрения нижнего яруса успевали засыпаться почвой до уровня верхнего яруса. Исходя из этого определим длину патрубков верхнего  $L_1$  и среднего  $L_2$  ярусов:

$$L_1 = \frac{1}{2} V_n t_1 = \frac{1}{2} V_n \sqrt{\frac{2 \cos \varphi_1 (a + \sqrt{a^2 - 2b(h-h_2) \operatorname{tg} \xi_1})}{g \sin \xi_1 \sin(\xi_1 - \varphi_1)}}; \quad (1)$$

$$L_2 = \frac{1}{2} V_n t_2 = \frac{1}{2} V_n \sqrt{\frac{2 \cos \varphi_1 (a + \sqrt{a^2 - 2b(h-h_1) \operatorname{tg} \xi_1})}{g \sin \xi_1 \sin(\xi_1 - \varphi_1)}}; \quad (2)$$

где  $V_n$  – скорость движения агрегата, м/с;  
 $a$  – глубина взрыхленного слоя почвы, м;  
 $t_1$  – время заполнения бороздки до верхнего яруса, с;  
 $t_2$  – время заполнения бороздки до среднего яруса, с;

$b$  – ширина борозды, м;  
 $h$  – глубина заделки удобрений нижнего яруса, м;  
 $h_1$  – глубина заделки удобрений среднего яруса, м;  
 $h_2$  – глубина заделки удобрений верхнего яруса, м;  
 $\xi_1$  – угол естественного откоса почвы, град.;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  
 $\varphi_1$  – угол внутреннего трения почвы, град.

Анализ уравнений (1) и (2) показывает, что с повышением скорости движения агрегата  $V_n$  и возрастанием коэффициента внутреннего трения почвы длину патрубка следует увеличить. При  $V_n = 0,75-1,75$  м/с,  $b = 0,04$  м,  $\varphi_1 = 28-40^\circ$ ,  $h_1 = 0,28-0,30$  м,  $h_2 = 0,16-0,18$  м, длина патрубков  $L_1 = 0,24-0,54$  м и  $L_2 = 0,18-0,43$  м.

Рассмотрим результаты экспериментов по изучению влияния длины выступающей части  $l_2$  отражательной пластины патрубка среднего яруса (при длине отражательной пластины верхнего яруса  $l_1 = 25$  мм) на распределение удобрений (рис. 2).

При всех углах наклона патрубка и постоянном  $l_1 = 25$  см с изменением длины  $l_2$  отражательной пластины среднего яруса с 25 до 45 мм количество удобрений, попадающих в средний ярус, увеличивается, а в верхний ярус – остается примерно постоянным (около 33%). Например, при  $\zeta = 75^\circ$  количество удобрений в среднем ярусе увеличивается с 11,1 до 33,5%, а в нижнем – уменьшается с 55,3 до 32,0%. Аналогич-



ная закономерность распределения удобрений по слоям в зависимости от длины  $l_2$  отражательной пластины среднего яруса и угла  $\zeta$  наклона патрубка наблюдается и при  $l_1=30$  мм (рис. 2).

При постоянных значениях  $l_2$  и  $\zeta$  с увеличением длины  $l_1$  отражательной пластины верхнего яруса количество удобрений, распределяемых в верхний и нижний ярусы, увеличивается, а в средний – уменьшается.

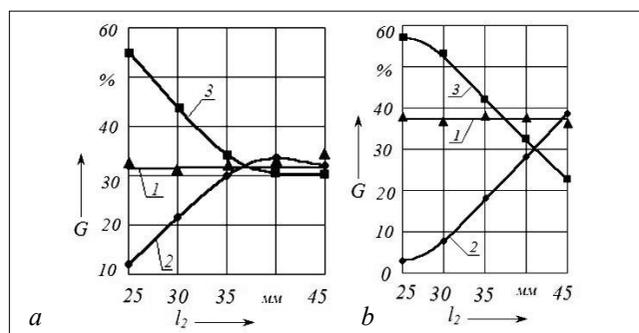


Рис. 2. Распределение удобрений по ярусам (1 – верхний; 2 – средний; 3 – нижний) в зависимости от длины выступающей части пластины среднего яруса  $l_2$ : а – при  $\zeta = 75^\circ$  и  $l_1 = 25$  мм; б – при  $\zeta = 65^\circ$  и  $l_1 = 30$  мм

Fig. 2. Fertilizer distribution in the tiers (1 – upper, 2 – medium, and 3 – lower), depending on the length  $l_2$  of a protruding part of the middle tier plate: а – for  $\zeta = 75^\circ$  and  $l_1 = 25$  mm; б –  $\zeta = 65^\circ$  and  $l_1 = 30$  mm

При постоянных значениях длины отражательных пластин с уменьшением угла наклона патрубка количество удобрений, попадающих в верхний ярус, сокращается, а в нижний – увеличивается. Это объясняется тем, что с уменьшением угла наклона патрубка сокращается площадь в тукопроводящем канале, перекрываемая отражательными пластинами.

Для изучения взаимного влияния этих факторов, а также для определения их рациональных значений провели многофакторные эксперименты. Уровни факторов варьировали в следующих пределах: угол наклона патрубка к вертикали  $\zeta$  – от  $55$  до  $75^\circ$  с интервалом  $10^\circ$ , длина  $l_1$  отражательной пластины патрубка верхнего яруса – от  $25$  до  $35$  мм с интервалом  $5$  мм, длина отражательной пластины патрубка среднего яруса  $l_2$  – от  $30$  до  $40$  мм с интервалом  $5$  мм.

Для получения математической модели распределения минеральных удобрений в три яруса при воздействии вышеперечисленных факторов, использовали план Хартли ( $Ha_3$ ). Функцией отклика служило количество удобрений (%), попадающих в верхний, средний и нижний ярусы.

После обработки результатов эксперимента на ЭВМ получили уравнения регрессии, адекватно описывающие количество удобрений в верхнем, среднем и нижнем ярусах. При решении уравнений регрессии с учетом необходимого распределения удобрений вы-

явили следующие рациональные параметры:

$$l_1 = 26-30 \text{ мм}; l_2 = 33-37 \text{ мм}; \zeta = 60^\circ.$$

Влияние угла наклона воронки на распределение удобрений по ярусам изучали при оптимальных параметрах отражающих пластин, то есть при  $l_1=28$  мм;  $l_2=35$  мм и  $\zeta=60^\circ$ .

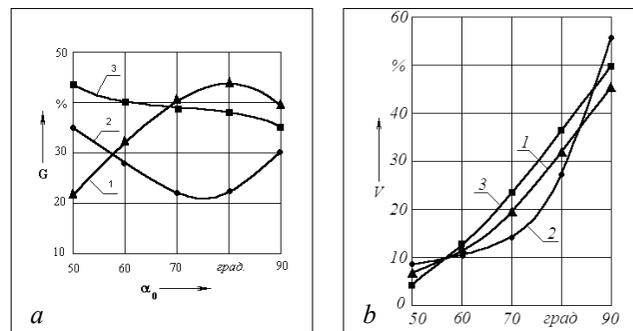


Рис. 3. Влияние угла наклона воронки тукопровода-распределителя: а – на распределение удобрений; б – на поступление удобрений в верхний (1), средний (2) и нижний (3) ярусы  
Fig. 3. Influence of the inclination angle of a spreading funnel on (a) the distribution of fertilizers and (b) the intake of fertilizers in the upper (1), middle (2) and lower (3) tiers

Равномерность распределения удобрений по ярусам, отвечающая агротехническим требованиям, обеспечивается при угле наклона воронки  $55^\circ$  (рис. 3).

Нижний рассеиватель служит для равномерного распределения удобрений по ширине рабочего органа. Для нормального протекания процесса высота задней стенки желобка средней части  $h_2$  и на краях  $h_1$  связаны равенством  $h_2 = 5h_1$ . Поэтому при выборе контролируемых факторов, влияющих на равномерность распределения удобрений по ширине, кроме угла наклона желобков в поперечно-вертикальной плоскости  $\alpha_2$ , приняли вместо двух высот задней стенки  $h_1$  и  $h_2$  одну  $h_1$  (рис. 4).

Оптимизацию параметров нижнего распределителя удобрений осуществляли с применением метода математического планирования эксперимента. Уровни факторов варьировали в следующих пределах:

- угол  $\alpha_2$  – от  $15$  до  $25^\circ$  с интервалом  $5^\circ$ ;
- угол  $\beta_2$  – от  $24$  до  $38^\circ$  с интервалом  $7^\circ$ ;
- высота задней стенки желобка  $H_2$  – от  $0,5$  до  $1,5$  мм с интервалом  $0,5$  мм.

Экспериментальные исследования провели по плану Хартли ( $Ha_3$ ). После обработки результатов на ЭВМ получили уравнение регрессии, адекватно описывающее распределение удобрений по ширине полосы нижнего яруса. Анализ полученного уравнения выявил, что на этот показатель наибольшее влияние оказывает высота задней стенки желобка, с увеличением которой неравномерность распределения возрастает.

После решения уравнения на ЭВМ методом штраф-

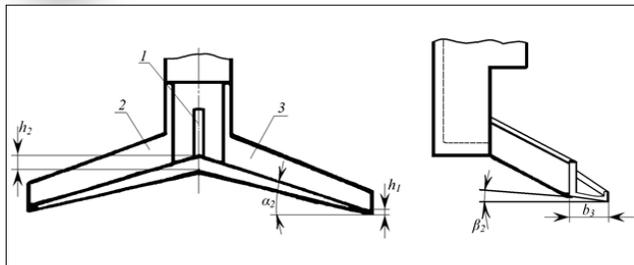


Рис. 4. Схема нижнего распределителя удобрений

1 – делительная пластина; 2, 3 – желобчатый рассеиватель;  $\alpha_2$  – угол наклона желобков распределителя в поперечно-вертикальной плоскости;  $\beta_2$  – угол наклона желобка распределителя в продольно-вертикальной плоскости;  $h_2$  – высота задней стенки желобка по оси симметрии;  $h_1$  – высота задней стенки желобка в конце рассеивателя

Fig. 4. Design scheme of the lower distributor of fertilizers:

1 – a dividing plate; 2, 3 – a grooved diffuser;  $\alpha_2$  – inclination angle of the funnel grooves in the transverse vertical plane;  $\beta_2$  – inclination angle of the funnel groove in the longitudinal vertical plane;  $h_2$  – height of the back wall of the groove along the axis of symmetry;  $h_1$  – height of the back wall of the groove at the diffuser end

ных функций *SUMT* при условии  $Y_4(X)_{\min}$  получили оптимальные значения факторов:

- угол наклона желобков в поперечно-вертикальной плоскости  $\alpha_2 = 17^\circ$ ;
- угол наклона желобков в продольно-вертикальной плоскости  $\beta_2 = 29^\circ$ ;
- высота задней стенки желобка в конце рассеивателя  $h_1 = 0,5$  мм;

- высота задней стенки желобка по оси симметрии  $h_2 = 2,5$  мм.

Результаты экспериментальных исследований влияния длины патрубков  $L_1$  и среднего  $L_2$  ярусов на глубину заделки удобрений показывают, что с возрастанием скорости движения глубина заделки удобрений во всех ярусах увеличивается. Это объясняется тем, что почва не успевает засыпать образующуюся щель за стойкой рабочего органа глубокорыхлителя. При этом удобрения попадают на дно борозды. В результате анализа экспериментальных данных установили, что оптимальная длина патрубка верхнего яруса должна быть 260 мм, а среднего яруса – 240 мм.

**Выводы.** Качественное распределение минеральных удобрений на заданных глубинах внесения верхнего и среднего ярусов обеспечивается при длине их патрубков 260 и 240 мм соответственно. Необходимое разделение удобрений на три яруса происходит при длине выступающей части отражательных пластин тукопроводящего канала: для верхнего яруса – 26-30 мм, для среднего яруса – 33-37 мм. При этом 40-45% удобрений распределяется в нижний, третий, ярус. Выбрали рациональные параметры нижнего рассеивателя удобрений, обеспечивающего равномерное распределение удобрений по ширине захвата рабочего органа: угол наклона желобка в продольно-вертикальной плоскости –  $17-19^\circ$ ; угол наклона желобка в поперечно-вертикальной плоскости –  $29^\circ$ ; высота задней обреза желобка в средней части – 2,5 мм, в конце – 0,5 мм.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батиров З.Л., Шахобов С.Ш. Машины для внесения удобрений под посевные рядки хлопчатника. Карши: Насаф. 2008. 98 с.
2. Личман Г.И., Личман А.А. Оценка влияния качества внесения удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. Т. 11. №5. С. 16-21.
3. Личман Г.И., Колесникова В.А., Марченко Н.М., Марченко А.М. Разработка алгоритма оценки точности систем позиционирования ГЛОНАСС/GPS при дифференцированном внесении удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. Т. 11. №2. С. 4-8.
4. Кряжков В.М., Бурченко П.Н. Основные тенденции развития механизация обработки почвы // *Проблемы механизации сельскохозяйственного производства*. М.: ВИМ. 1989. №2. С. 6-12.
5. Худоев А., Мамадалиев М. Теоретическое обоснование параметров рыхлителя комбинированного агрегата // *Техника в сельском хозяйстве*. 2009. №2. С. 9-11.
6. Лобачевский Я.П., Маматов Ф.М., Эргашев И.Т. Фронтальный плуг для хлопководства // *Хлопок*. 1991. №6. С. 35-37.
7. Mamatov F.M., Kodirov U.I. Energy-resource machine for preparing soil for planting root crops on ridges. *European Science Review*. 2016. N11. 125-126.
8. Кашаев Б.А., Сизов О.А., Бурченко П.Н. Тенденция развития технологий и средств механизации обработки почвы. Обзорная информация. М.: ВНИИТЭИагропром. 1988. 48 с.
9. Ахметов А.А., Атакулов Х.К., Алланазаров М.А., Иноятв И.А., Нурмихамедов Б.У., Узакбергенов Ж.К. Комплексные исследования по созданию комбинированных почвообрабатывающих машин. Бухара: Бухоро. 2012. 154 с.
10. Ахметов А.А. Почвоуплотняющие рабочие органы комбинированных почвообрабатывающих машин. Ташкент: Фан. 2013. 119 с.

### REFERENCES

1. Batirov Z.L., Shahobov S.Sh. Mashiny dlya vneseniya udobreniy pod posevnyye ryadki khlopchatnika [Machines for applying fertilizers for cotton drill rows]. Karshi: Nasaf. 2008. 98. (In Uzbek).



2. Lichman G.I., Lichman A.A. Otsenka vliyaniya kachestva vneseniya udobreniy na urozhaynost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Assessing the impact of fertilizers on crop yields]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* 2017. N5. 16-21 (In Russian).

3. Lichman G.I., Kolesnikova V.A., Marchenko N.M., Marchenko A.M. Razrabotka algoritma otsenki tochnosti sistem pozitsionirovaniya GLONASS/GPS pri differencirovannom vnesenii udobreniy [Development of an algorithm for estimating the accuracy of GLONASS/GPS positioning systems for variable-rate fertilization]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. N2. 4-8 (In Russian).

4. Kryazhkov V.M., Burchenko P.N. Osnovnye tendentsii razvitiya mehanizatsii obrabotki pochvy [Main trends in the development of soil tillage mechanization]. *Problemy mehanizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva*. Moscow: VIM. 1989. N2. 6-12 (In Russian).

5. Khudoerov A., Mamadaliev M. Teoreticheskoe obosnovanie parametrov rykhlyatelya kombinirovannogo agregata [Theoretical determination of the parameters of a soil tiller of a combined unit]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. Moscow, 2009. N2. 9-11 (In Russian).

6. Lobachevskiy Ya.P., Mamatov F.M., Ergashev I.T. Frontal'nyy plug dlya khlopkovodstva [Front-type plough for cotton cultivation]. *Khlopok*. 1991. N6. 35-37 (In Russian).

7. Mamatov F.M., Kodirov U.I. Energy-resource machine for preparing soil for planting root crops on ridges. *European Science Review*. Vienna, 2016. N11. 125-126 (In English).

8. Kashaev B.A., Sizov O.A., Burchenko P.N. Tendentsiya razvitiya tekhnologii i sredstv mekhanizatsii obrabotki pochvy [Development trends for technologies and means of soil tillage mechanization]. *Obzornaya informatsiya*. Moscow: VNIITELAgroprom. 1988. 48 (In Russian).

9. Akhmetov A.A., Atakulov Kh.K., Allanzarov M.A., Inoyatov I.A., Nurmikhamedov B.U., Uzakbergenov Zh.K. Kompleksnye issledovaniya po sozdaniyu kombinirovannykh pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Comprehensive research on designing combined-type tillage machines]. Bukhara: Bukhoro. 2012. 154 (In Russian).

10. Akhmetov A.A. Pochvouplotnyayushchie rabochie organy kombinirovannykh pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Soil compacting tools of combined-type tillage machines]. Tashkent: Fan. 2013. 119 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 26.03.2019**  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 26.03.2019

**Статья принята к публикации 13.06.2019**  
The paper was accepted  
for publication on 13.06.2019

## Обоснование параметров усовершенствованного сошника для внесения минеральных и органо-минеральных удобрений

**Абдумуталиб Хаджиевич Хаджиев**,  
доктор технических наук, академик Академии  
сельскохозяйственных наук Республики  
Узбекистан, руководитель лаборатории,  
e-mail: yoldoshev69@mail.ru;

**Саидрахим Умарович Темиров**,  
старший научный сотрудник;

**Ортик Камилович Йулдашев**,  
старший научный сотрудник;  
**Бахтиер Ражабович Курамбоев**,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, Республика Узбекистан

**Реферат.** При использовании существующих сошников для внесения органо-минеральных удобрений не обеспечивается надежное протекание технологического процесса, так как шейка тукопровода не приспособлена к внесению таких удобрений. (*Цель исследований*) Обосновать параметры усовершенствованного сошника для внесения минеральных и органо-минеральных удобрений. (*Материалы и методы*) Провели исследования с использованием методов теоретической и земледельческой механики, а также аналитической геометрии. Рассмотрели движение частиц почвы по горизонтальной плоскости под действием заостренной части стойки. Построили графики изменения поступательной скорости культиватора в зависимости от угла заострения стойки сошника при углах трения 25, 30 и 35 градусов. (*Результаты и обсуждение*) Получили аналитическую зависимость для определения поступательной способности органо-минеральных удобрений через шейку сошника. Определили угол заострения стойки сошника для внесения удобрений на определенную глубину, при котором они не прилипают к его поверхности и не сгуживаются перед ним. Обосновали диаметр шейки тукопровода сошника. (*Выводы*) Доказали, что угол заострения стойки рабочего органа для внесения минеральных и органо-минеральных удобрений, разработанного по результатам проведенных исследований, должен быть в пределах 54-66 градусов. Рекомендовали для обеспечения свободного прохода удобрений диаметр шейки тукопровода сошника, превышающий 43 миллиметра.

**Ключевые слова:** культиватор-питатель, сошник, держатель, угол заострения, почва, поверхность поперечного сечения, междурядье хлопчатника, диаметр шейки тукопровода.

■ **Для цитирования:** Хаджиев А.Х., Темиров С.У., Йулдашев О.К., Курамбоев Б.Р. Обоснование параметров усовершенствованного сошника для внесения минеральных и органо-минеральных удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №4. С. 54-57. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-54-57.

## Determination of the Parameters of Improved Coulter for Introducing Mineral and Organic-And-Mineral Fertilizers

**Abdumutalib Kh. Khadzhev**,  
Dr.Sc.(Eng.), member of the Academy of Agricultural  
Sciences of the Republic of Uzbekistan,  
e-mail: yoldoshev69@mail.ru;  
**Saidrakhim U. Temirov**,  
senior research associate;

**Ortik K. Yuldashev**,  
Ph.D.(Eng.), senior research associate;  
**Bakhtier R. Kuramboev**,  
senior research associate

Research Institute of Agricultural Mechanization, Republic Uzbekistan

**Abstract.** When using the conventional coulters for applying organic-and-mineral fertilizers, reliable technological process cannot be ensured unless a fertilizer funnel is adapted to such fertilizers. (*Research purpose*) Determination of the parameters of an improved coulter for introducing organic-and-mineral fertilizers. (*Materials and methods*) The authors conducted theoretical studies using the methods of theoretical and agricultural mechanics, as well as analytic geometry. They also considered the horizontal flow of soil particles under the action of the pointed part of a leg and made diagrams of the progressive speed of



a cultivator depending on the cutting-point angle of the coulter leg at friction angles of 25, 30, and 35 degrees. (*Results and discussion*) An analytical relationship was obtained to determine progressive flowability of organic-and-mineral fertilizers through a coulter funnel. The author also found the cutting-point angle of a coulter leg for introducing fertilizers at a certain depth. In this case they neither stick to the coulter surface nor pack up before entering it. The optimum diameter of the fertilizer funnel was determined as well. (*Conclusions*) It has been proved that the cutting-point angle of a working tool leg for introducing mineral and organic-and-mineral fertilizers developed according to the research should range from 54 to 66 degrees. The authors have determined that an easy flow of fertilizers can be ensured if the diameter of a fertilizer funnel of a coulter should be not less than 43 millimeters.

**Keywords:** feeder cultivator, coulter, holder, cutting-point angle, soil, cross-section surface, cotton inter-row spacing, diameter of a fertilizer funnel.

**For citation:** Khadzhiev A.Kh., Temirov S.U., Yuldashev O.K., Kuramboev B.R. Obosnovanie parametrov usovershenstvovannogo soshnika dlya vneseniya mineral'nykh i organo-mineral'nykh udobreniy [Determination of the parameters of improved coulter for introducing mineral and organic-and-mineral fertilizers]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 54-57 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-54-57.

При выращивании хлопчатника в зависимости от биологических свойств и фазы роста культуры 2-3 раза вносят минеральные и органико-минеральные удобрения [1, 2]. Однако сошники культиваторов не обеспечивают внесение удобрений на необходимую глубину, установленную агротехническим требованиям, а лишь на 8-10 см. В результате затрудняется поступление удобрений к корням растений, снижается их эффективность.

Кроме этого, при использовании существующих сошников для внесения органико-минеральных удобрений не обеспечивается надежное протекание технологического процесса, так как шейка тукопровода не приспособлена к внесению таких удобрений.

**Цель исследований** – обосновать параметры усовершенствованного сошника для внесения минеральных и органико-минеральных удобрений.

**Материалы и методы.** Разработали усовершенствованный сошник для внесения органико-минеральных удобрений (рис. 1).

В рабочем процессе удобрение, поступающее из тукопровода, проходит через его шейку и поступает на дно борозды, открытое долотом.

Рассмотрим движение частиц почвы по горизонтальной плоскости под действием заостренной части стойки.

**Результаты и обсуждение.** Обоснование угла заострения стойки сошника. При внесении в междурядья минеральные и органико-минеральные удобрения не должны прилипать к сошнику и сгуживаться перед ним. Для этого требуется обосновать угол заострения  $2\gamma_T$  предлагаемой усовершенствованной стойки сошника (рис. 2).

Рассмотрим движение частиц почвы по горизонтальной плоскости под действием заостренной части стойки. На этой плоскости частицы почвы двигаются со скоростью  $V_a$  по направлению к углу трения  $\varphi$  относительно нормали  $n$ , проведенной к рабочей поверхности сошника.

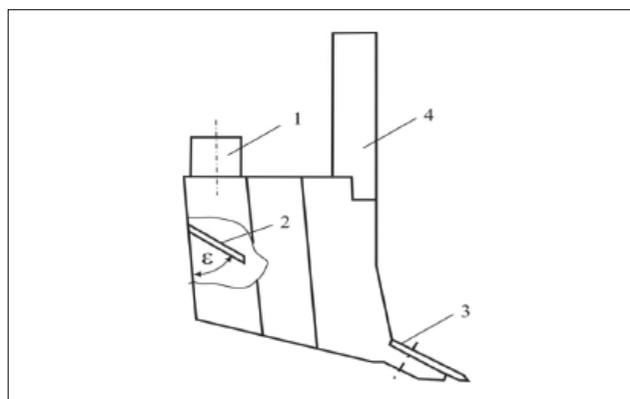


Рис. 1. Схема усовершенствованного сошника: 1 – шейка тукопровода; 2 – направляющий удобрений; 3 – долото; 4 – стойка

Fig. 1. Design scheme of an advanced coulter: 1 – fertilizer funnel; 2 – fertilizer guide; 3 – chisel; 4 – leg

Согласно схеме:

$$V_a \cos \varphi = V \sin \gamma_T;$$

$$\frac{V}{\cos \varphi} = \frac{V_a}{\sin \gamma_T};$$

$$V_a = V \frac{\sin \gamma_T}{\cos \varphi}, \tag{1}$$

где  $V$  – скорость поступательного движения сошника, м/с.

Определяем поперечную (перпендикулярную) составляющую  $V_k$  скорости движения  $V_a$ :

$$V_k = V_a \cos(\gamma_T + \varphi), \tag{2}$$

$$\cos(\gamma_T + \varphi) = \frac{V_k}{V_a}.$$

Чтобы почва не прилипла к рабочей поверхности сошника и не сгуживалась перед ним, поступатель-

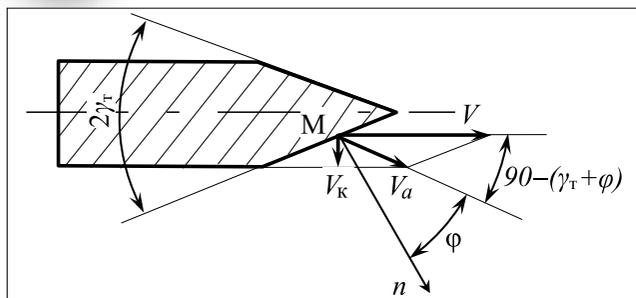


Рис. 2. Схема движения частиц почвы под действием стойки сошника

Fig. 2. Scheme of soil particles flow under the action of the coulters leg

ная скорость культиватора  $V_k$  должна иметь максимальное значение [3]. Исходя из этого требования и используя уравнения (2), построили графики изменения  $V_k$  в зависимости от  $\gamma_T$ , приняв  $V = 2$  м/с и  $\varphi = 25^\circ; 30^\circ; 35^\circ$  (рис. 3). Графики зависимостей  $V_k = f(\gamma_T)$  имеют вид выпуклой параболы, а при определенных значениях  $\gamma_T$  достигают максимального значения.

Для определения угла  $\gamma_T$ , обеспечивающего максимальное  $V_k$ , выражение (2) исследуем на экстремум [4]:

$$\frac{dV_k}{d\gamma_T} = V \cos \varphi [\cos \gamma_T \cos(\gamma_T + \varphi) - \sin \gamma_T \sin(\gamma_T + \varphi)] = 0. \quad (3)$$

Отсюда:

$$\cos(2\gamma_T + \varphi) = 0. \quad (4)$$

Решив выражение (4) относительно  $\gamma_T$ , получаем следующие результаты:

$$2\gamma_T + \varphi = 2\pi;$$

$$2\gamma_T = 2\pi - \varphi; \quad (5)$$

или

$$\gamma_T = \pi - \frac{\varphi}{2}. \quad (6)$$

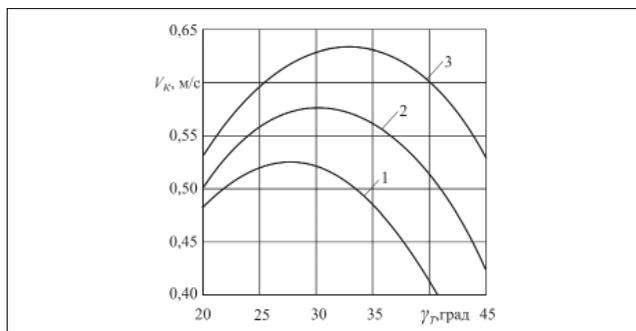


Рис. 3. Зависимость поступательной скорости культиватора от угла заострения стойки сошника при разных углах трения: 1 – 25°; 2 – 30°; 3 – 35°

Fig. 3. The relationship between the forward speed of a cultivator and the cutting-point angle of a coulters leg at different friction angles: 1 – 25°; 2 – 30°; 3 – 35°

Приняв из графиков значения  $\varphi$  в пределах  $25-35^\circ$ , определяем:  $\gamma_T = 27-33^\circ$ , или  $2\gamma_T = 54-66^\circ$  [3, 5].

Обоснование диаметра шейки тукопровода сошника. Для устойчивого протекания рабочего процесса шейки тукопровода сошника должна свободно пропускать удобрения, поступающие от высевающего аппарата.

Исходя из норм внесения удобрения на 1 пог. м междурядья хлопчатника, должно быть внесено следующее количество удобрений [6]:

$$q = \frac{Q}{l_q}, \quad (7)$$

где  $Q$  – норма внесения удобрения, кг/га;

$l_q$  – длина междурядья, приходящаяся на 1 га хлопчатника, м/га.

С другой стороны, количество удобрения, вносимое на расстояние 1 м, равно [6-8]:

$$q = \frac{F_y V_y \rho}{V_k}, \quad (8)$$

где  $F_y$  – площадь поперечного сечения потока удобрений,  $m^2$ ;

$V_y$  – скорость поступления удобрения через шейку тукопровода, м/с;

$\rho$  – плотность удобрения,  $kg/m^3$ ;

$V_k$  – поступательная скорость культиватора, м/с.

Из выражений (7) и (8) определяем площадь  $F_y$  поперечного сечения шейки тукопровода сошника:

$$F_y \geq \frac{Q V_k}{V_y \rho l_q}. \quad (9)$$

С учетом  $F_y = \pi d^2/4$  ( $d$  – диаметр шейки тукопровода, м) получим:

$$d > 2 \sqrt{\frac{Q V_k}{\pi V_y \rho l_q}}. \quad (10)$$

Приняв  $Q = 800$  кг/га;  $V_k = 2,2$  м/с;  $V_y = 1,5$  м/с и  $\rho = 480$   $kg/m^3$ , из уравнения (10) установили, что для обеспечения свободного пропуска удобрений, поступающих из высевающего аппарата, диаметр шейки тукопровода сошника должен быть не менее 43 мм [9-12].

### Выводы

1. Угол заострения стойки рабочего органа для внесения минеральных и органо-минеральных удобрений, разработанного по результатам проведенных исследований, должен быть в пределах  $54-66^\circ$ .

2. Для обеспечения свободного продвижения удобрений диаметр шейки тукопровода сошника при локальном внесении в междурядья хлопчатника должен быть не менее 43 мм.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Қишлоқ хўжалиги экинларини парваришлаш ва маҳсулот етиштириш бўйича намунавий технологик карталар 2011-2015. Ташкент: Hilol Media. 2011. 80 с.
2. Минеев В.Г., Джуманкулов Х.Д. и др. Научные основы применения удобрений в Республиках Средней Азии. Ташкент: Узбекистан. 1977. 70 с.
3. Сергиенко В.А. Технологические основы механизации обработки почвы в междурядьях хлопчатника. Ташкент: Фан. 1978. 112 с.
4. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М.: Наука. 1972. 872 с.
5. Хаджиев А., Хидиров Т., Хамидов Ш. Исследование параметров устройства к глубокорыхлителью для глубокого широкополосного внесения органо-минеральных удобрений // *Вестник ТашГТУ*. 2000. №1. С. 75-77.
6. Симарев Ю. Математические методы анализа эффективного использования сельскохозяйственной техники // *АПК: экономика и управление*. 1999. №6. С. 59-64.
7. Мухаммаджанов М., Сулейманов С. Корневая система

- и урожайность хлопчатника. Ташкент: Узбекистан. 1978. С. 36-53.
8. Хаджиев А. Механизация локального внесения минеральных удобрений под хлопчатник. Ташкент: Мехнат. 1988. 187 с.
  9. Хаджиев А., Комилов Н. Обоснование места расположения нижней и верхней кромок высевного окна устройства для нарезки гребней с одновременным внесением органо-минеральных удобрений // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2015. №9. С. 32-33.
  10. Соколов Ф.А. Агронимические основы комплексной механизации хлопководства. Ташкент: Фан. 1977. С. 171-173.
  11. Несмиян А.Ю., Ценч Ю.С. Тенденции и перспективы развития отечественной техники для посева зерновых культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №3. С. 45-52.
  12. Мазитов Н.К., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С. Сельскохозяйственная техника: решения и перспективы // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. №3 (32). С. 94-100.

## REFERENCES

1. Қишлоқ хўжалиги экинларини парваришлаш ва маҳсулот етиштириш бўйича намунавий технологик карталар 2011-2015 [Standard technological cards for agricultural crops and crop production 2011-2015]. Tashkent: Hilol Media. 2011. 80 (In Uzbek).
2. Mineev V.G., Dzhumankulov Kh.D. et al. Nauchnye osnovy primeneniya udobreniy v Respublikakh Sredney Azii [Scientific basics of applying fertilizers in the Republics of Central Asia]. Tashkent: Uzbekistan. 1977. 70 (In Russian).
3. Sergienko V.A. Tekhnologicheskie osnovy mekhanizatsii obrabotki pochvy v mezhduryad'yakh khlopchatnika [Technology grounds for mechanizing soil tillage in cotton inter-row spacing]. Tashkent: Fan. 1978. 112 (In Russian).
4. Vygodskiy M.Ya. Spravochnik po vysshey matematike [Reference book on higher mathematics]. Moscow: Nauka. 1972. 872 (In Russian).
5. Khadzhiyev A., Khidirov T., Khamidov Sh. Issledovanie parametrov ustroystva k glubokorykhlitel'yu dlya glubokogo shirokopolosnogo vnesheniya organo-mineral'nykh udobreniy [Study of the parameters of a subsoil cultivator extension for deep wide-coverage application of organic-and-mineral fertilizers]. *Vestnik TashGTU*. 2000. №1. 75-77 (In Russian).
6. Simarev Yu. Matematicheskie metody analiza effektivnogo ispol'zovaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Mathematical methods for analyzing the effectiveness of using agricultural machinery]. *APK: ekonomika i upravlenie*. 1999. №6. 59-64.
7. Mukhammadzhanov M., Suleymanov S. Kornevaya siste-

- ma i urozhaynost' khlopchatnika [Root system and yield of cotton]. Tashkent: Uzbekistan. 1978. 36-53 (In Russian).
8. Khadzhiyev A. Mekhanizatsiya lokal'nogo vnesheniya mineral'nykh udobreniy pod khlopchatnik [Mechanization of the local application of mineral fertilizers for cotton]. Tashkent: Mekhnat. 1988. 187 (In Russian).
  9. Khadzhiyev A., Komilov N. Obosnovanie mesta raspolozheniya nizhney i verkhney kromok vysevnoy okna ustroystva dlya narezki grebney s odnovremennym vnesheniyem organo-mineral'nykh udobreniy [Determining the location of lower and upper edges of a seed opening in a device for cutting ridges with simultaneous introduction of organic-and-mineral fertilizers]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennye mashiny*. 2015. №9. 32-33 (In Russian).
  10. Sokolov F.A. Agronomicheskie osnovy kompleksnoy mekhanizatsii khlopkovodstva [Agronomical foundations of complex mechanization of cotton growing]. Tashkent: Fan. 1977. 171-173 (In Russian).
  11. Nesmiyan A.Yu., Tsench Yu.S. Tendentsii i perspektivy razvitiya otechestvennoy tekhniki dlya poseva zernovykh kul'tur [Trends and prospects of development of domestic equipment for sowing crops]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. №3. 45-52 (In Russian).
  12. Mazitov N.K., Shogenov Yu.Kh., Tsench Yu.S. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: resheniya i perspektivy [Agricultural machinery: solutions and prospects]. *Vestnik VIESH*. 2018. №3(32). 94-100 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 08.04.2019**  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 08.04.2019

**Статья принята к публикации 13.06.2019**  
The paper was accepted  
for publication on 13.06.2019

## Повышение износостойкости и прочности на изгиб ножей к центробежным свеклорезкам

**Феликс Яковлевич Рудик<sup>1</sup>**,  
доктор технических наук, профессор,  
e-mail: rudik.sgau@mail.ru;

**Сергей Алексеевич Бредихин<sup>2</sup>**,  
доктор технических наук

<sup>1</sup>Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Российская Федерация;

<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Эффективность производства сахара во многом зависит от состояния свекловичной стружки, полученной при измельчении сахарной свеклы в центробежной свеклорезке. Показали, что уже к концу односменной наработки дефектное состояние ножей ведет к недобору до 28-30 процентов сахарозы. (*Цель исследования*) Установить качественные показатели свекловичной стружки, измельченной в центробежной свеклорезке, усовершенствовать конструкцию и технологию изготовления ножей с повышенными физико-механическими характеристиками. (*Материалы и методы*) Выявили причины, ухудшающие параметры ножей и качество измельчения сахарной свеклы в режущем аппарате. Для повышения прочности и износостойкости на изгиб режущих граней ножа усовершенствовали конструкцию ножа и предложили новую технологию его изготовления. Теоретически и экспериментально обосновали целесообразность замены технологии изготовления режущих граней резанием на обработку пластической деформацией в штамповой оснастке. (*Результаты и обсуждение*) Определили механизм и последствия изнашивания и поломки режущих кромок, деформации и поломки режущих граней ножей для измельчения сахарной свеклы. Усовершенствовали технологию штамповки граней в специальной оснастке. Разработали и экспериментально проверили в производственных условиях конструкцию оснастки для штамповки и механической обработки режущих граней ножа. (*Выводы*) Предложили упрочняющие методы обработки режущих граней ножей штамповкой. Решили вопросы конструктивного обеспечения технологии изготовления ножей специальной высокопроизводительной и ресурсосберегающей оснасткой. Экспериментально определили и проверили в условиях эксплуатации основные физико-механические показатели ножей для измельчения сахарной свеклы, изготовленных по традиционной и экспериментальной технологиям. Показали преимущества режущих граней ножей для измельчения сахарной свеклы, сделанных по усовершенствованной технологии: увеличение микротвердости на 14 процентов и повышение выносливости на изгиб на 30 процентов.

**Ключевые слова:** переработка сахарной свеклы, стружка сахарной свеклы, центробежная свеклорезка, режущая кромка, износостойкость ножей в центробежной свеклорезке.

■ **Для цитирования:** Рудик Ф.Я., Бредихин С.А. Повышение износостойкости и прочности на изгиб ножей к центробежным свеклорезкам // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №4. С. 58-64. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-58-64.

## Improving the Wear Resistance and Bending Strength of Knives Used in Centrifugal Beet Cutters

**Feliks Ya. Rudik<sup>1</sup>**,  
Dr.Sc.(Eng.), professor, e-mail: rudik.sgau@mail.ru;

**Sergey A. Bredikhin<sup>2</sup>**,  
Dr.Sc.(Eng.), professor

<sup>1</sup>Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, Russian Federation;

<sup>2</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The efficiency of sugar production depends largely on the state of beet chips obtained from a centrifugal sugar beet cutter. It is shown that a one-shift operation of defective knives may result in a loss of up to 28-30 percent of sucrose. (*Research purpose*) To establish quality indicators of beet chips obtained from a centrifugal beet cutter, to improve a design and production technology of knives with increased physical and mechanical characteristics. (*Materials and methods*) The authors identified the reasons leading to the deterioration of the knife parameters and ensuring the quality of sugar beet cutting. To increase the indicators of wear resistance and bending strength of the cutting edges, the knife design was modified and a new technology of knife manufacturing was offered. The authors theoretically and experimentally proved the feasibility of replacing the manufacturing technology of the cutting edges of



knives - from cutting to plastic deformation in die tooling. (*Results and discussion*) The authors have determined the mechanism and consequences of the wear and breakage of cutting points and the deformation and breakage of cutting edges of sugar beet knives. The technology of edge die stamping with special equipment was offered. The design of tooling for die stamping and machining of knife's cutting edges was developed and experimentally tested in production conditions. (*Conclusions*) The authors offered the methods of strengthening cutting edges of knives with die casting, as well as offered solutions to the design problems of knife manufacturing using special high-performance and resource-saving equipment. The main physical and mechanical characteristics of sugar beet knives manufactured according to conventional and improved technologies have been experimentally determined and tested under operating conditions. The authors show the advantages of the cutting edges of sugar beet knives manufactured according to the improved technology; the study has proved an increase in microhardness by 14 percent and an increase in bending strength by 30 percent.

**Keywords:** sugar beet processing, sugar beet chips, centrifugal sugar beet cutter, cutting edge, wear resistance of knives in a centrifugal sugar beet cutter.

**For citation:** Rudik F.Ya., Bredikhin S.A. Povysheniye iznosostoykosti i prochnosti na izgib nozhey k tsentrobezhnym sveklorezkam [Improving the wear resistance and bending strength of knives used in centrifugal beet cutters]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 58-64 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-58-64.

Для получения максимального выхода сахара при переработке сахарной свеклы необходимо качественное, технологически обоснованное измельчение [1, 2]. Для этого в центробежной свеклорезке предусмотрен нож специальной конструкции. Ромбовидная форма и размеры стружки способствуют максимальному выходу свекловичного сока из вакуолей корнеплода в диффузионном аппарате. Чем выше качество измельчения, тем больше сахарозы извлекается из стружки [3, 4].

Качество измельчения  $K_{с.с.}$  функционально обусловлено технологическим состоянием свеклы, поступающей из кагатов в разные периоды года и с различной степенью ее загрязненности, условиями выращивания и уборки корнеплодов  $T_{с.с.}$ , конструктивно-технологическим состоянием ножей для ее измельчения  $K_{с.н.}$  и показателем безотказности ножа  $P_n(t)$  [5, 6]:

$$K_{с.с.} = f(T_{с.с.}; K_{с.н.}; P_n(t)). \quad (1)$$

Непосредственно при измельчении на качество стружки могут воздействовать лишь конструктивно-технологические показатели ножа для измельчения стружки  $K_{с.н.}$  и безотказности  $P_n(t)$ , которая зависит от износостойкости и выносливости материала лезвия на изгиб. После окончания каждой смены режущие кромки ножа затачивают, что в целом обеспечивает его высокую работоспособность до проведения очередного технического обслуживания.

Качество стружки зависит от технического состояния ножа и оценивается показателем проницаемости стружки. Установлено, что оптимальная проницаемость наблюдается при длине стружки 11-14 м, приходящейся на 100 г навески (рис. 1).

При длине стружки 11-14 м в 100 г навески проницаемость стружки составляет около 170 л/ч (рис. 1). Это эквивалентно потере сахарозы при ее дальнейшем извлечении в диффузионном аппарате до 2-5%, что допустимо. Однако по мере работы центробежной свекло-

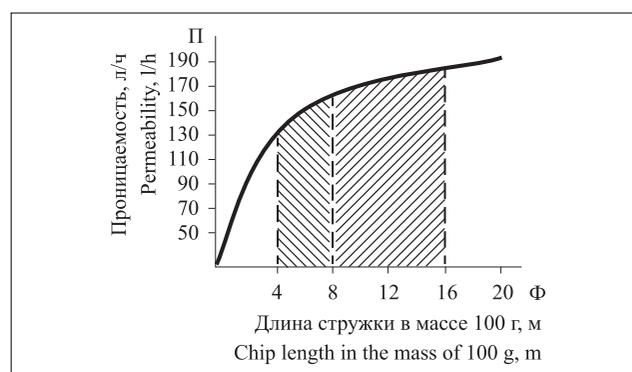


Рис. 1. Зависимость проницаемости стружки от ее длины  
Fig. 1. The dependence of the permeability shavings and its length

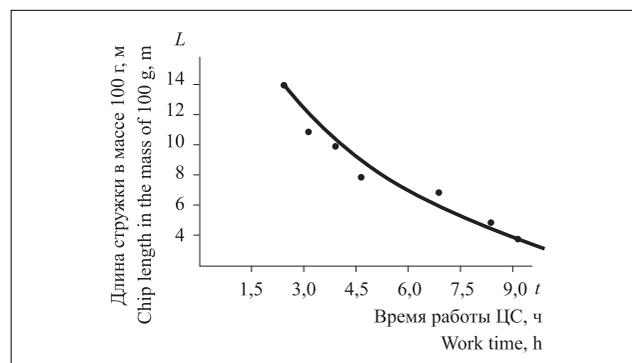


Рис. 2. Зависимость длины стружки от времени работы центробежной свеклорезки  
Fig. 2. The dependence of the chip length on the operating time of the centrifugal beet cutter

резки идет интенсивный процесс изнашивания и затупления режущих кромок граней ножа, грани деформируются, что изменяет характер измельчения сахарной свеклы. Процесс резания ткани затупленным инструментом встречает значительное противодействие со стороны упругой деформации свеклы. Это вызывает соответствующее изменение толщины стружки, которая не должна превышать 0,0005 м. Изнашивание режущих кромок идет по нарастающей, что влечет за со-

бой идентичное ухудшение параметров стружки (рис. 2). К концу смены длина стружки укорачивается до 8-10 м, соответственно на 20-22% ухудшается ее проницаемость, достигая показателя 90-120 л/ч. Потери сахарозы доходят до 30%. При исследовании работы режущего аппарата центробежной установки анализом видов, последствий и критичности их отказов установлено, что элементом, не подлежащим дальнейшему разукрупнению и обеспечивающим качественное измельчение сахарной свеклы, являются режущие грани ножа [7, 8]. Для оценки влияния отказа ножа на качество функционирования центробежной свеклорезки и полноту выполнения ею назначенных функций исследовали возможный материальный ущерб, обусловленный невыполнением им определенных заданных функций.

Качество стружки в первую очередь зависит от технического состояния свеклорезного ножа. Считаем, что эффективность измельчения можно оценить интегральным показателем качества. В данном случае конструктивно-технологическое состояние ножа оценивали зависимостью суммарного положительного эффекта работы центробежной установки от затрат на создание нового ножа и его технического обслуживания при эксплуатации:

$$I = \frac{\sum \Pi}{\alpha(Z_c + Z_s)}, \quad (2)$$

где  $I$  – интегральный показатель качества, руб.;

$\sum \Pi$  – суммарный положительный эффект от работы центробежной установки, руб.;

$\alpha$  – поправочный коэффициент, зависящий от срока службы оборудования;

$Z_c$  – затраты на создание нового ножа, руб.;

$Z_s$  – затраты на техническое обслуживание нового ножа, руб.

**Цель исследования** – установить зависимость качественных показателей свекловичной стружки, измельченной в центробежной свеклорезке, усовершенствовать конструкцию и технологию изготовления ножей с повышенными физико-механическими характеристиками.

**Материалы и методы.** Для реализации цели исследования использовали данные анализа рабочего процесса измельчения сахарной свеклы в стружку. Особенность биологического строения сахарной свеклы с расположенными в продольном направлении вакуолями, заполненными свекловичным соком, вызывает определенные сложности их измельчения [1]. Необходимо тщательное измельчение вакуолей с окружающими их оболочками паренхимной ткани. С этой целью установили и исследовали технологически рациональные параметры стружки: толщину стружки (в пределах 0,0005 м) и длину стружки на 100 г навески.

Микрометражными исследованиями определяли величину износа и деформации формы граней в период односменной наработки. Для оценки механизма по-

вышения износостойкости и упрочнения граней ножа изучили микро- и макроструктурное состояние, физические показатели (остаточные напряжения и плотность дислокаций), выносливость на изгиб и износостойкость изделий, выполненных по экспериментальной технологии. Результаты обрабатывали с помощью программы *MS Excel* из пакета *Microsoft Office*.

**Результаты и обсуждение.** При анализе дефектного состояния ножей для измельчения сахарной свеклы в стружку установили, что их работоспособность связана с систематическими и внезапными отказами. Жесткие условия работы при измельчении сахарной свеклы заключаются в многократных ударных и инерционных взаимодействиях корнеплода и режущего аппарата, создаваемых центробежными силами от вращения волчка в неподвижном цилиндре свеклорезки с закрепленными в нем ножевыми рамками. Изнашивание ножей ухудшает параметры стружки [9].

Систематические отказы возникают от знакопеременных ударных нагрузок каждой очередной свеклы о грани ножа и вызваны образованием усталостных трещин, деформацией граней и их поломкой [10]. Инерционное перемещение и измельчение свеклы по режущим кромкам граней ножа создают условия для гидроабразивного изнашивания. Внезапные отказы связаны с попаданием в емкость центробежной свеклорезки инородных материалов (камней, комков замерзшей земли, замерзших корнеплодов и прочего); они вызывают невосстанавливаемые локальные разрушения режущих граней ножа (рис. 3). При работе центробежной установки проверка технического состояния ножей и их замена невозможны; их осуществляют только в пустой емкости после окончания смены, так как каждая непредусмотренная остановка отрицательно воздействует на ритм предприятия. Но возникает отрицательная производственная ситуация, когда некачественное измельчение ведет к недоизвлечению из вакуолей до 30% свекловичного сока. А это влечет за собой значительные потери вырабатываемого продукта и повышает его себестоимость.

Силовой анализ измельчения свеклы позволил установить зависимость между процессом резания и техническим состоянием ножа по технологическим параметрам свекловичной стружки [11-13]. От длины контакта свеклы с режущими гранями ножа зависят длина и толщина стружки, при этом анализируемые параметры зависят также от силы преодоления изгиба стружки и напряжения сжатия свеклы [14]:

$$N_\beta = \frac{1}{2} [\sigma_{сж}] LB, \quad (3)$$

где  $N_\beta$  – сила преодоления изгиба свекловичной стружки, Н;

$\sigma_{сж}$  – напряжение сжатия свеклы, МПа;

$L$  – длина стружки, м;

$B$  – толщина стружки, м.

Чтобы улучшить качество стружки, прежде всего

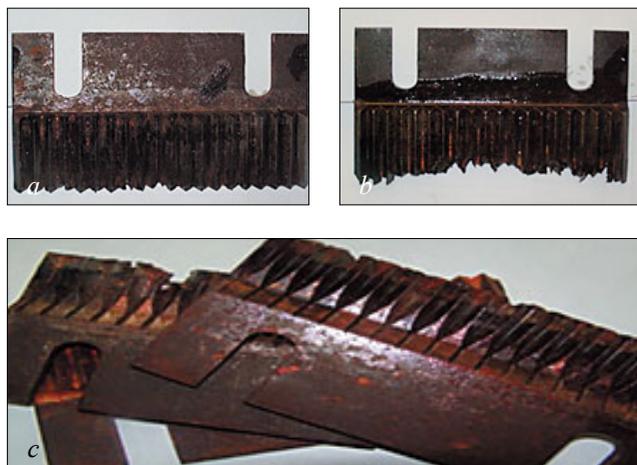


Рис. 3. Дефектное состояние режущих граней ножей: а – изношенная режущая кромка; б – разрушенная режущая кромка; с – деформированные с локальными поломками режущие грани

Fig. 3. Defective condition of the cutting edges of knives: a – worn cutting edge; b – destroyed cutting edge; c – deformed cutting edges with local defects

необходимо повысить износостойкость режущих граней ножа. Единичная грань имеет ромбовидный профиль (рис. 4).

Площадь сечения стружки определим выражением:

$$S_c = \frac{c}{2} \left( a_1 \cos \frac{\alpha}{2} + 2H_1 \sin \frac{\alpha}{2} - 2c^2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2} \right), \quad (4)$$

где  $c$  – толщина стенки, м;

$a_1$  – шаг грани с учетом толщины стенки, м;

$a_2$  – длина внутренней полости грани, м;

$H_1$  – высота грани, м;

$H_2$  – высота полости грани, м.

Момент инерции, учитывающий конструктивные особенности ромбовидной грани, равен:

$$J_{x_1} = \frac{a_1 H_1^3}{12} - \frac{a_2 H_2^3}{12} - S_c, \quad (5)$$

где  $J_{x_1}$  – момент инерции, Н·м;

$S_c$  – площадь сечения стружки, м<sup>2</sup>.

После подстановки известных конструктивных па-

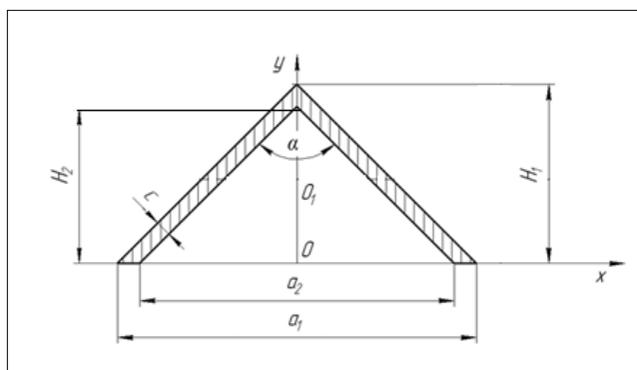


Рис. 4. Сечение режущей грани ножа

Fig. 4. Cross-section of the cutting edge of a knife

раметров получим уравнение момента инерции при прохождении свеклы сквозь грани ножа:

$$J = \frac{a_1 H_1^3}{12} - \frac{\left( a_1 - 2c \sin \frac{\alpha}{2} \right) \left( H_1 - c \cos \frac{\alpha}{2} \right)}{12} - \frac{H_1^2 c}{9} \left( a_1 \sin \frac{\alpha}{2} + 2H_1 \sin \frac{\alpha}{2} - 2c \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2} \right). \quad (6)$$

Полученный момент инерции оказывает существенное воздействие на напряжения  $\sigma_{нар}$ , воспринимаемые режущими гранями при измельчении свеклы:

$$\sigma_{нар} = -\frac{P_y L}{3J} - \frac{P_x L_t}{S}, \quad (7)$$

где  $\sigma_{тр}$  – напряжения, приходящиеся на контактирующую со свеклой граней ножа, МПа;

$P_x$  – сила, действующая по направлению резания свеклы, Н;

$P_y$  – сила, противодействующая процессу резания свеклы, Н;

$J$  – момент инерции на перемещение свеклы относительно режущих граней ножа, Н·м.

В свою очередь, сила реакции на внедрение режущих кромок граней ножа в свеклу определяется выражением:

$$N_x = \pi R [\sigma_{сж}] \frac{2H_1}{\cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (8)$$

где  $N_x$  – сила реакции на внедрение свеклы в режущие грани ножа, Н;

$R$  – нормальная составляющая сила, Н;

$\sigma_{сж}$  – напряжение сжатия свеклы, МПа.

Теоретический анализ рабочего процесса измельчения сахарной свеклы в центробежной свеклорезке позволил установить силовые характеристики, обуславливающие:

- инерционное перемещение корнеплода относительно режущих кромок граней ножа;

- ударные воздействия корнеплодов на грани ножа, конструктивно находящиеся в свободном состоянии, связанные с центробежными силами, возникающими от раскрученных улиткой центробежной установки корнеплодов свеклы.

Отказы ножа характеризуются не потерей его работоспособности, а достаточно интенсивным изменением качества стружки. Затупление режущих кромок при эксплуатации центробежной свеклорезки в течение смены ухудшает параметры стружки, сопровождается снижением показателя проницаемости стружки и, соответственно, сахарозы от 2,5% в начале смены до 28-30% в конце. Отказы устраняются путем перезаточки режущих кромок ножей после каждой смены. Из-за укорачивания длины режущих граней и изменения по этой причине рабочего процесса измельчения возможно проводить не более 4-5 перезаточек, после чего ножи выбраковывают. На этом основании

с целью упрочнения режущих кромок и граней ножа мы предложили изменить технологию его изготовления. Формирование режущих граней по принятой технологии фрезерования создает однородную по строению структуру ромбовидной грани с низкими показателями износостойкости и коэффициента использования материала. Замена обработки материала резанием на пластическую деформацию позволит методами объемного и поверхностного деформирования упрочнить и повысить как износостойкость режущих граней, так и их выносливость на изгиб.

Исходя из ранее проведенных исследований принято решение повысить прочностные и износостойкие показатели путем формирования режущих граней методом пластической деформации в специальной штамповой оснастке [15-19]. Для формирования качественных граней с минимальными припусками на механическую обработку исследовали схему формообразования (рис. 5). Процесс формирования граней в штамповой оснастке исследовали, определяя нормальные усилия деформации по элементу грани методом линий скольжения. Возникающие при этом на элементах штампа максимальные касательные напряжения  $\tau$  создают первую линию скольжения  $k$  по направлению  $AB$ ,  $\tau = k$ . В точках их соприкосновения она направлена по касательной и пересекает матрицу штампа под углом  $\varphi = \pi/2$ . Эти линии скольжения формируют боковые поверхности режущих граней и их пики. А линии скольжения второго семейства  $AC$  и  $BD$  – боковые стенки и впадины. Тогда нормальные напряжения сдвига  $\sigma_n$  можно выразить следующим образом:

$$\sigma_n = 2k(1+\varphi), \quad (9)$$

где  $\sigma_n$  – нормальные напряжения сдвига, МПа;

$\varphi$  – угол поворота линий скольжения от точки  $A$  до точки  $B$ , град.

В соответствии с принятым конструктивным решением формообразующие плоскости матрицы и пуансона взаимно параллельны, то есть:

$$\sigma_n = 2k(1+\pi/2). \quad (10)$$

$$\text{При тангенциальном сдвиге } k = \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_s,$$

где  $\sigma_s$  – напряжение текучести материала ножа, Па, тогда нормальные напряжения сдвига будут равны:

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s \left(1 + \frac{\pi}{2}\right) = \frac{-2}{\sqrt{3}} \times \\ &\times 2,57 \sigma_s = -1,155 \times \\ &\times 2,57 \sigma_s = -2,87 \sigma_s, \end{aligned} \quad (11)$$

Напряжение деформации в поперечном сечении вычисляем по формуле:

$$\begin{aligned} \sigma_y &= \sigma_n \sin \frac{\alpha}{2}, \text{ поэтому усилие деформации для формирования режущих граней ножа равно:} \\ P_1 &= 2,87 \sigma_s \sin(\alpha/2) S n, \end{aligned} \quad (12)$$

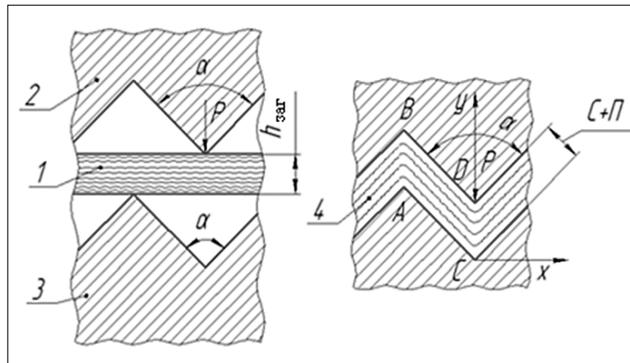


Рис. 5. Схема формообразования режущих граней ножей при штамповке: 1 – деформируемая пластина; 2 – пуансон штампа; 3 – матрица штампа; 4 – сформированные в штамповой оснастке режущие грани ножа;  $C+\Pi$  – толщина стенки грани ножа с припуском на механическую обработку

Fig. 5. Scheme of the cutting edge formation of knives when stamping: 1 – deformable plate; 2 – stamp punch; 3 – stamp matrix; 4 – knife edges formed in die tooling;  $C+\Pi$  – the thickness of a knife edge wall with a machining allowance

где  $P_1$  – усилие деформации для формирования режущих граней ножа, Н;

$S$  – площадь поперечного сечения одного сектора пуансона, м<sup>2</sup>;

$n$  – количество элементов граней ножа, шт.

Штамповая оснастка состоит из формообразующих матрицы и пуансона с деформирующими гранями, обеспечивающими получение заданных формы и размера граней ножа с незначительными припусками на финишную операцию механической обработки (рис. 6). Заготовка ножа выполнена из проката толщиной 6 мм, что исключает в последующем необходимость механической обработки его привалочной крепежной плоскости. При изготовлении ножей механической обработкой используют заготовки толщиной 13 мм, что в 2 раза повышает расход металла по сравнению со штамповкой (рис. 6). Это объясняется тем, что при производстве ножей механической обработкой принимается заготовка толщиной 14 мм, а при использовании методов пластической деформации – толщиной 8 мм. Заготовку устанавливают в матрицу штампа, на два штифта, что предохраняет ее от сдвигов при одновременной деформации и формообразовании внутренней и внешней полостей режущих граней взаимодействием матрицы и пуансона. Для стабильности формообразования граней предусмотрены также две пары колонн и втулок. Стойкость деформирующих граней матрицы и пуансона по отношению избыточному давлению обеспечивается срабатыванием пружинного механизма штампа.

Финишная механическая доводка осуществляется многофрезерной оправкой, одновременно обрабатывающей внутреннюю и внешнюю поверхности режущих граней в два перехода.

Принятая для изготовления свеклорезных ножей

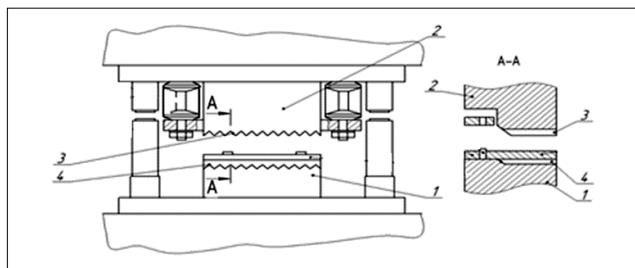


Рис. 6. Штамп для формообразования поволоков ножей:  
1 – матрица; 2 – пуансон; 3, 4 – деформирующие грани  
Fig. 6. Stamp for shaping knife forgings:  
1 – matrix; 2 – punch; 3, 4 – deforming edges

инструментальная сталь У7 технологически не оправдана, она предназначена для производства простого инструмента, не воспринимающего значительные ударные и инерционные нагрузки. Она обладает высокой твердостью, склонна к хрупкости и выкрашиванию режущей кромки, характеризуется низким пределом выносливости на изгиб при симметричном цикле нагружения. Для изготовления свеклорезных ножей больше подходит хорошо зарекомендовавшая се-

бя сталь 40X13, обладающая пластичностью к действиям ударных нагрузок, а также высокой износо- и коррозионностойкостью, что немаловажно для пищевой индустрии.

**Выводы.** Определили механизм и последствия изнашивания и выкрашивания режущих кромок, деформаций и поломок режущих граней ножей для измельчения сахарной свеклы. Усовершенствовали конструкцию ножа путем упрочнения высоты и дна режущих граней и разработали новые технологии и оснастку для изготовления специальной упрочняющей высокопроизводительной и ресурсосберегающей оснасткой. Экспериментально определили и проверили в условиях эксплуатации основные физико-механические показатели ножей для измельчения сахарной свеклы, изготовленных по традиционной и экспериментальной технологиям. Показали повышение микротвердости на 14% и выносливости на изгиб на 30% режущих граней ножей для измельчения сахарной свеклы, изготовленных по усовершенствованной технологии.

Физико-механические и структурные показатели режущих граней свеклорезных ножей												
PHYSICAL-AND-MECHANICAL AND STRUCTURAL INDICATORS OF THE CUTTING EDGES OF BEET KNIVES												
Технологии Technologies	Микротвердость, МПа Microhardness, MPa			Выносливость на изгиб, циклы нагрузки Bending strength, load cycles		Остаточные напряжения, МПа Residual stresses, MPa			Плотность дислокаций, 10 <sup>11</sup> см <sup>-2</sup> Dislocation density, 10 <sup>11</sup> cm <sup>-2</sup>			Структурное состояние материала режущих граней Structural state of the material of cutting edges
	глубина сечения, м·10 <sup>-3</sup> cross-section depth, m·10 <sup>-3</sup>			время испытания, ч test time, h		глубина сечения, м·10 <sup>-3</sup> cross-section depth, m·10 <sup>-3</sup>			глубина сечения, м·10 <sup>-3</sup> cross-section depth, m·10 <sup>-3</sup>			
	1,0	0,5	1,0	72	144	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5	1,0	
Традиционная Conventional	500	500	500	6,5	8,0	-127	-9,3	-10	1,4	1,4	1,4	грубоигольчатый мартенсит coarse needle martensite
Экспериментальная Improved (experimental)	570	550	570	7,3	10,5	-67,2	-55,1	-67,2	9,6	8,7	9,6	скрытокристаллический мартенсит с карбидами хрома cryptocrystalline martensite with chromium carbides

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

- Сахарная свекла – качество корнеплодов и выход сахара / Под редакцией Н.П. Вострухина. Минск: Юнипак. 2007. 206 с.
- Сахарная свекла / Под редакцией Д. Шпаара. Минск: Невада. 2000. 166 с.
- McGinnis R.A. Beet-Sugar Technology. 2nd Edition. New York: Reinhold Publishing Corporation. 1971. 574.
- Азрилович М.Я. Технологическое оборудование свеклосахарных заводов. М.: Агропромиздат. 1986. 320 с.
- Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. М.: Колос. 1999. 495 с.
- Рудик Ф.Я., Богатырев С.А. Анализ условий работы и износа режущих кромок центробежных установок // *Аграрный научный журнал*. 2018. N3. С. 47-50.
- Рудик Ф.Я., Скрябина Л.Ю., Ковылин А.П. Дефектное состояние ножей к центробежным установкам и повышение их усталостной прочности // *Ремонт, восстановление, модернизация*. 2014. N8. С. 22-26.
- Рудик Ф.Я., Скрябина Л.Ю., Ковылин А.П. Обеспечение показателей надежности ножей для измельчения сахарной свеклы // *Научное обозрение*. 2012. N6. С. 160-163.
- Проектирование, конструирование и расчет техники пищевых технологий / Под редакцией В.А. Панфилова. СПб.,

Краснодар: Лань. 2013. 911 с.

10. Гребенюк С.М., Щербачев С.М. Исследование силовых взаимодействий сахарной свеклы с барабаном свеклорезки // *Сахарная промышленность*. 1981. N2. С. 22-25.

11. Джента Дж., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Накопление кинетической энергии. М.: Мир. 1988. 248 с.

12. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин. М.: Машиностроение. 1979. 702 с.

13. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. М.: Высшая школа. 1980. 400 с.

14. Беляев Н.М. Сопrotивление материалов. М.: Альянс С. 2014. 608 с.

15. Rudik F.Ya., Gutuev M.Ch., Vorotnikov I.L. New in Manufacturing and Restoration of Meat-Processing Machines

Cutting Tool. *Journal of Huazhong Agricultural University*. 2000. Vol. 19. N3. 292-296.

16. Рудик Ф.Я. Совершенствование технологических процессов изготовления и восстановления режущего инструмента оборудования перерабатывающей отрасли. М.: Росинформагротех. 2000. 182 с.

17. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение. 1977. 423 с.

18. Лопухин А.М., Гунн Г.Я., Галкин Ф.М. Сопrotивление пластической деформации металлов. М.: Металлургия. 1983. 352 с.

19. Годжаев З.А., Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А. Ключевые технологии и прогноз развития сельскохозяйственной робототехники // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. N6 (21). С. 35-41.

### REFERENCES

1. Sakharnaya svekla – kachestvo korneplodov i vykhod sakhara [Sugar beet - the quality of root crops and sugar yield] / Ed. by N.P. Vostrukhin. Minsk: Yunipak. 2007. 206. (In Russian)

2. Sakharnaya svekla [Sugar beet] / Ed. by D. Shpaar. Minsk: Nevada. 2000. 166 (In Russian).

3. McGinnis R.A. Beet-Sugar Technology. 2nd Edition. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1971. 574 (In English).

4. Azrilovich M.Yu. Tekhnologicheskoye oborudovanie sveklosakharnykh zavodov [Technological equipment of sugar beet production]. Moscow: Agropromizdat. 1986. 320 (In Russian).

5. Saprnov A.R. Tekhnologiya sakharogo proizvodstva [Technology of sugar production]. Moscow: Kolos. 1999. 495 (In Russian).

6. Rudik F.Ya., Bogatyrev S.A. Analiz usloviy raboty i iznosnogo sostoyaniya nozhey tsentrobezhnykh ustanovok [Analysis of working conditions and wear patterns of knives used in centrifugal plants]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2018. N3. 47-50 (In Russian).

7. Rudik F.Ya. Skryabina L.Yu., Kovylin A.P. Defektnoe sostoyanie nozhey k tsentrobezhnym ustanovkam i povyshenie ikh ustalostnoy prochnosti [Defective condition of knives used in centrifugal plants and ways to increase their fatigue strength]. *Remont, vosstanovleniye, modernizatsiya*. 2014. N8. 22-26 (In Russian).

8. Rudik F.Ya., Skryabina L.Yu., Kovylin A.P. Obespecheniye pokazateley nadezhnosti nozhey dlya izmel'cheniya sakharoy svekly [Ensuring the reliability of knives for sugar beet cutting]. *Nauchnoye obozrenie*. 2012. N6. 160-163 (In Russian).

9. Proektirovaniye, konstruirovaniye i raschet tekhniki pishchevykh tekhnologiy [Design, construction and calculation of food production machines] / Ed. by V.A. Panfilov. SPb., Krasnodar: Lan'. 2013. 911 (In Russian).

10. Grebenyuk S.M., Shcherbakov S.M. Issledovaniye silovykh vzaimodeystviy sakharoy svekly s barabanom sveklorезки [Study of the interaction force of sugar beet with a beet cutter drum]. *Sakharnaya promyshlennost'*. 1981. N2. 22-25 (In Russian).

11. Genta J., Shorr B.F., Josilevich G.B. Nakopleniye kineticheskoy energii [Accumulation of kinetic energy]. Moscow: Mir. 1988. 248 (In Russian).

12. Birger I.A. Raschet na prochnost' detaley mashin [Strength calculation of machine parts: a reference book]. Moscow: Mashinostroeniye. 1979. 702 (In Russian).

13. Biderman V.L. Teoriya mekhanicheskikh kolebaniy [Theory of mechanical oscillations]. Moscow: Vysshaya shkola. 1980. 400 (In Russian).

14. Belyaev N.M. Soprotivleniye materialov [Strength of materials]. Moscow: Al'yans S. 2014. 608 (In Russian).

15. Rudik F.Ya., Gutuev M.Ch., Vorotnikov I.L. New in Manufacturing and Restoration of Meat-Processing Machines Cutting Tool. *Journal of Huazhong Agricultural University*. 2000. Vol. 19. N3. 292-296 (In English).

16. Rudik F.Ya. Sovershenstvovaniye tekhnologicheskikh protsessov izgotovleniya i vosstanovleniya rezhushchego instrumenta oborudovaniya pererabatyvayushchey otrasli [Improving technological processes of manufacturing and restoration of cutting tools in the processing industry equipment]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2000. 182 (In Russian).

17. Storozhev M.V., Popov E.A. Teoriya obrabotki metallov davleniem [Theory of plastic metal forming]. Moscow: Mashinostroeniye. 1977. 423 (In Russian).

18. Lopukhin A.M., Gunn G.Ya., Galkin F.M. Soprotivleniye plasticheskoy deformatsii metallov [Plastic strength of metals]. Moscow: Metallurgiya. 1983. 352 (In Russian).

19. Godzhaev Z.A., Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. Klyuchevye tekhnologii i prognoz razvitiya sel'skokhozyajstvennoy robototekhniki [Key technologies and forecast of agricultural robotics development]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2016. N6 (21). С. 35-41.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 11.05.2019**  
**The paper was submitted**  
**to the Editorial Office on 11.05.2019**

**Статья принята к публикации 04.06.2019**  
**The paper was accepted**  
**for publication on 04.06.2019**



УДК. 631.331



DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-65-70

## Метод обобщенной оценки при выборе факторов и уровней их варьирования в многофакторном исследовании высевяющих аппаратов

**Елена Михайловна Зубрилина,**  
кандидат технических наук, доцент кафедры,  
e-mail: Q-factor2017@yandex.ru;  
**Илья Анатольевич Маркво,**  
старший преподаватель;

**Андрей Сергеевич Журавлев,**  
инженер, магистрант;  
**Виталий Иванович Новиков,**  
инженер;  
**Елизавета Владимировна Нерода,**  
инженер

Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

**Реферат.** Результаты исследований сложных объектов могут быть представлены как задача с несколькими выходами, а это потребует получения отдельной математической модели для каждого результата. При использовании обобщенного критерия оптимизации (суперкритерия), например в виде функции желательности Харрингтона, достаточно будет одной модели. Привели пример применения методики для определения факторов, влияющих на процесс высева семян экспериментальной сеялкой. (*Цель исследования*) Сформулировать общие рекомендации по усовершенствованию процесса планирования и организации научных экспериментов в области сельскохозяйственного машиностроения. (*Материалы и методы*) В ходе исследований руководствовались идеей преобразования натуральных значений частных критериев (или характеристик) в безразмерную шкалу желательности с последующей оценкой уровня предпочтительности набора факторов и уровней их варьирования в многофакторном эксперименте. В качестве объекта исследования выбрали высевяющий аппарат для совместного высева двух культур. (*Результаты и обсуждение*) Установили следующие уровни желательности натуральных значений выхода (комбинации уровней варьирования факторов эксперимента): «очень хорошо», «хорошо», «удовлетворительно», «плохо», «очень плохо». Получили степень влияния факторов на процесс высева семян кукурузы экспериментальной сеялкой с помощью применения методики априорного ранжирования. Выявили приемлемый набор значений (комбинация оптимальных и максимальных значений) из диапазона варьирования факторов, позволяющий более качественно реализовать выбор основных факторов, влияющих на параметр оптимизации. Продемонстрировали работу запатентованного программного обеспечения по расчету данных согласно плану Бокса-Бенкена, позволяющего получить достаточную информацию о поверхности отклика процесса в центре эксперимента, выбранном в качестве предполагаемого оптимума. (*Выводы*) Представили способ подготовки к проведению и последующей обработке результатов сложных исследований с применением суперкритерия. Подчеркнули необходимость цифровизации процесса планирования и организации научных экспериментов.

**Ключевые слова:** обобщенный критерий оптимизации, организация научных экспериментов, экспериментальная сеялка, функция желательности Харрингтона, обработка результатов сложных исследований.

■ **Для цитирования:** Зубрилина Е.М., Маркво И.А., Журавлев А.С., Новиков В.И., Нерода Е.В. Метод обобщенной оценки при выборе факторов и уровней их варьирования в многофакторном исследовании высевяющих аппаратов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №4. С. 65-70. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-65-70.

## Method of Generalized Evaluation in the Selecting Factors and Levels of Variation in the Multifactorial Study of Sowing Machines

**Elena M. Zubrilina,**  
Ph.D.(Eng), associate professor;  
Q-factor2017@yandex.ru;  
**Ilya A. Markvo,**  
senior lecturer;

**Andrey S. Zhuravlev,**  
research engineer, postgraduate student;  
**Vitaly I. Novikov,**  
research engineer;  
**Elizaveta V. Neroda,**  
research engineer

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

**Abstract.** The results of studying complex objects can be presented as a problem with several outputs, and this will require a separate mathematical model for each result. If we use a generalized optimization criterion (super criterion), for example, in the form of the Harrington desirability function, one model will suffice. The authors have drawn an example of applying this methodology to

determine the factors influencing the seeding process performed with an experimental seeder. (*Research purpose*) To show general recommendations for improving the process of planning and organization of scientific experiments in the field of agricultural engineering. (*Materials and methods*) The authors were guided by the idea of converting the natural values of particular criteria (or characteristics) into a dimensionless scale of desirability with subsequent assessment of the level of preference of a set of factors and their levels of variation in a multifactorial experiment. The object of research was represented by a sowing unit used for combined seeding of two crops. (*Results and discussion*) The study has established the following levels of desirability of natural output values (combinations of the variation levels of experimental factors): "very good", "good", "satisfactory", "bad", and "very bad". The rate of influence of these factors on corn seed sowing with an experimental seeder was obtained by applying a priori ranking technique. An acceptable set of values (a combination of optimal and maximum values) from the range of factors variation was revealed, which provides for more qualitative choice of the main factors influencing the optimization parameter. The authors have demonstrated the operation of the patented software to calculate data according to the Box-Behnken plan, which allows to obtain sufficient information about the response surface of the process in the experiment center selected as the expected optimum. (*Conclusions*) The paper presents the way of preparing for an experiment and subsequent processing of the results of complex studies using the super criterion. The necessity for digitalizing the process of planning and organization of scientific experiments has been emphasized. **Keywords:** generalized optimization criterion, organization of scientific experiments, experimental seeder, Harrington desirability function, processing of complex research results.

**For citation:** Zubrilina EM, Markvo I.A., Neroda E.V., Novikov V.I., Zhuravlev A.S. Metod obobshchennoy otsenki pri vybore faktorov i urovney ih var'irovaniya v mnogofaktornom issledovanii vysewayushchih apparatov [Method of generalized evaluation in the selecting factors and levels of variation in the multifactorial Study of sowing machines]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 65-70 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-65-70.

**Р**езультаты исследований сложных объектов могут быть представлены как задача с несколькими выходами, а это потребует получения отдельной математической модели для каждого результата [1, 2]. При использовании обобщенного критерия оптимизации (суперкритерия), например в виде функции желательности Харрингтона, достаточно будет одной модели [3-6].

Пример применения данной методики для определения факторов, влияющих на процесс высева семян экспериментальной сеялкой, приведен в работах [1, 2].

**Цель исследования** – сформулировать общие рекомендации по усовершенствованию процесса планирования и организации научных экспериментов в области сельскохозяйственного машиностроения.

**Материалы и методы.** В основе исследования лежит идея преобразования натуральных значений частных критериев (или характеристик) в безразмерную шкалу желательности с последующей оценкой предпочтительности набора факторов и уровней их варьирования в многофакторном эксперименте. В качестве объекта исследования выбран высевающий аппарат для совместного высева двух культур [6, 7].

Установлены следующие уровни желательности натуральных значений выхода (комбинации уровней варьирования факторов эксперимента): «очень хорошо», «хорошо», «удовлетворительно», «плохо», «очень плохо». Степень влияния факторов на процесс высева семян кукурузы экспериментальной сеялкой получена с помощью применения методики априорного ранжирования [5, 6, 8].

**Результаты и обсуждение.** Выявлен приемлемый набор значений (комбинация оптимальных и максимальных значений) из диапазона варьирования фак-

торов, позволяющий более качественно выбрать основные из них, влияющие на параметр оптимизации [1, 2, 9]. Продемонстрирована работа запатентованного программного обеспечения по расчету данных согласно плану Бокса-Бенкена, с целью получения достаточной информации о поверхности отклика процесса в центре эксперимента, выбранного в качестве предполагаемого оптимума.

Разработка новых конструкций и элементов сельскохозяйственной техники предусматривает проведение эксперимента по различным планам и определение параметра оптимизации в зависимости от количества и качества влияющих на него факторов [1, 2, 8].

Результаты исследований сложных объектов могут быть выражены как задача с несколькими выходами, что требует получения отдельной математической модели для каждого результата. Сложность эксперимента определяется количеством факторов и их уровней, поэтому все исследователи стремятся минимизировать их. Один из таких методов – априорное ранжирование, рассмотренное нами ранее, на базе которого выбрали три основных фактора [1, 2, 9-13].

Рассмотрим в качестве объекта исследования высевающий аппарат для совместного высева двух культур (сорго и кукурузы). Выделим факторы, влияющие отдельно на процесс высева каждой культуры и общие положения. К общим факторам обоих процессов относятся:  $x_1$  – частота вращения высевающего диска;  $x_2$  – величина разрежения в вакуумной камере аппарата. Факторами, влияющими на процесс высева семян кукурузы, будут:  $x_3$  – положение подвижной части перегородки камер, выполняющей функции сбрасывателя «лишних» семян;  $x_4$  – количество



Выход Output	Обозначение фактора Factor designation	Интервал варьирования Variation interval	Диапазон варьирования Variation range	Ограничения Restrictions	Оптимум Optimum	Параметр выхода Output parameter	
						$\alpha_0$	$\alpha_1$
1	$X_1$	1	2-4	–	3	–15	5
2	$X_2$	1	2-4	–	3	–15	5
3	$X_3$	1,5	0-3	–	1,5	–5	10/3
4	$X_5$	2,5	2,5-5,0	–	5	–15	4
5	$X_6$	1	111-112	–	112	–1115	10
6	$X_7$	0,2	5,05-5,15	6,0	5,15	–510	100
7	$X_9$	30	0-30	45	30	–5	1/3
8	$X_{10}$	30	28-58	–	58	–43/3	1/3

присасывающих отверстий на высевальном диске;  $x_5$  – диаметр присасывающих отверстий;  $x_6$  – радиусы удаления присасывающих отверстий от центра высевального диска;  $x_7$  – толщина диска;  $x_8$  – конструктивный вариант ворошилки семян;  $x_9$  – угол наклона дна семенной камеры;  $x_{10}$  – расстояние от перегородки семенной камеры до ее дна (табл. 1). Для планирования многофакторного эксперимента необходимо знать количество основных факторов и их уровней. Для этого предложили оценку выбора факторов и уровней их варьирования методом обобщенного критерия. Исследовали факторы, влияющие на процесс высева экспериментального высевального аппарата для возделывания двух культур (кукурузы и сорго) методом обобщенного критерия, то есть факторы, определяющие качество процесса дозирования семян кукурузы. Определили интервалы и диапазон варьирования, ограничения и оптимумы. В таблицу 1 не вошли факторы, влияющие на процесс высева, которые при планировании эксперимента рассматриваются как константы с учетом конструктивной особенности работы высевального аппарата: количество присасывающих отверстий на высевальном диске и конструктивный вариант ворошилки семян. В основе построения обобщенной функции желательности Харрингтона лежит идея преобразования натуральных значений частных критериев (или характеристик) в безразмерную шкалу желательности или предпочтительности (рисунок).

Введем равномерную шкалу (по оси абсцисс):  $g$  с интервалом значений от  $-5$  до  $+5$ . Далее необходимо перевести значения каждого выхода  $y_i$  в новую шкалу, рассчитав абсциссы параметров выхода по формуле:

$$g_i = a_0 + a_i \cdot y_i, \quad (1)$$

где  $a_0, a_i$  – параметры выхода для перевода значений каждого выхода в новую шкалу.

Так, для частного параметра выхода  $l$  фактора  $X_l$  имеем (табл. 1):

$$\begin{cases} -5 = a_0 + a_i \cdot 2 \\ 5 = a_0 + a_i \cdot 4 \end{cases} \quad (2)$$

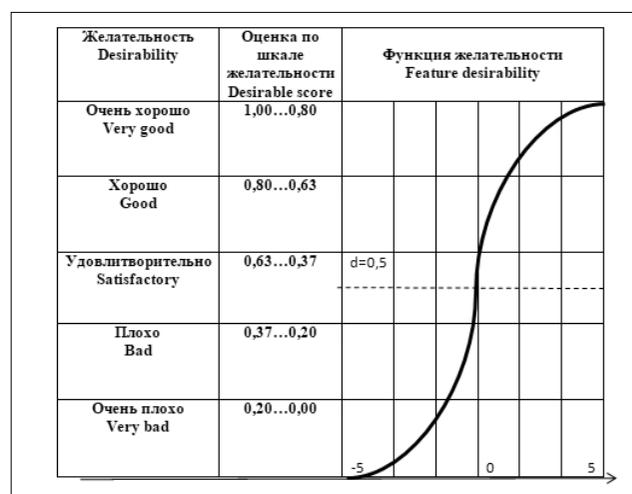


Рис. График функции желательности при одностороннем ограничении

Fig. Graph of the desirability function with a one-sided restriction

Решая систему уравнений, получим значения параметров выхода для новой шкалы:  $a_0 = -15; a_1 = 5$ .

Аналогичным способом найдем параметры формул перевода значений каждого выхода в новую шкалу (табл. 1). Установим уровень желательности для значений выхода по каждому фактору, выбрав их значения на оптимальном и максимальном уровне (табл. 1) и заполним таблицы 2-4.

Далее по формуле (1) рассчитали абсциссы частных параметров выхода по новой шкале в соответствии с параметрами формул перехода (табл. 2) и выходов опытов (табл. 3).

Пример:

$$\begin{aligned} g_{11} &= -15 + 5 \cdot 3 = 0,00; & g_{12} &= -15 + 5 \cdot 2,75 = -1,25; \\ g_{13} &= -15 + 5 \cdot 2,5 = -2,50; & g_{14} &= -15 + 5 \cdot 2,25 = -3,75; \\ g_{15} &= -15 + 5 \cdot 2 = -5,00. \end{aligned}$$

Рассчитанные величины сведены в таблицу 4.

Заключительным этапом в расчетах следует считать нахождение частной и обобщенной функции желательности.

Частная функция желательности:

Таблица 2 Table 2

**УРОВНИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ НАТУРАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВЫХОДА ПО ОПТИМАЛЬНЫМ И МАКСИМАЛЬНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ**  
**DESIRABILITY LEVELS OF NATURAL OUTPUT VALUES FOR OPTIMAL AND MAXIMUM VARIANTS**

Функция желательности Desirability function		Уровень Level	Выход опытов по общей шкале в натуральных величинах The output of experiments on a common scale in natural values							
оценка по шкале желательности (ордината) rating on the scale of desirability (ordinate)	желательность desirability		$Y_{1i}$	$Y_{2i}$	$Y_{3i}$	$Y_{4i}$	$Y_{5i}$	$Y_{6i}$	$Y_{7i}$	$Y_{8i}$
			0,80-1,00	очень хорошо very good	оптимальный optimal	3	3	1,5	5	112
		максимальный maximum	4	4	3	7,5	113	5,25	30	58
0,63-0,80	хорошо good	оптимальный optimal	2,75	2,75	1,125	4,375	111,75	5,125	22,5	50,5
		максимальный maximum	3,5	3,5	2,25	6,25	112,5	5,175	22,5	50,5
0,37-0,63	удовлетворительно satisfactorily	оптимальный optimal	2,5	2,5	0,75	3,75	111,5	5,1	15	43
		максимальный maximum	3	3	1,5	5	112	5,1	15	43
0,20-0,37	плохо poorly	оптимальный optimal	2,25	2,25	0,375	3,125	111,25	5,075	7,5	35,5
		максимальный maximum	2,5	2,5	0,75	3,75	111,5	5,025	7,5	35,5
0,00-0,20	очень плохо very bad	оптимальный optimal	2	2	0	2,5	111	5,05	0	28
		максимальный maximum	2	2	0	2,5	111	5,05	0	28

Таблица 3 Table 3

**АБСЦИССЫ КОДОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВЫХОДА ПО ОПТИМАЛЬНЫМ И МАКСИМАЛЬНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ**  
**THE ABSISSAS OF THE OUTPUT CODE VALUES AT THE OPTIMAL AND MAXIMUM VALUES**

Функция желательности Desirability function		Уровень Level	Выход по новой шкале в кодовых величинах The output of the new scale in code values							
Оценка по шкале желательности (ордината) Rating on the scale of desirability (ordinate)	желательность desirability		$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$	$g_5$	$g_6$	$g_7$	$g_8$
			0,80-1,00	очень хорошо very good	оптимальный optimal	0,00	0,00	0,00	5,00	5,00
		максимальный maximum	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
0,63-0,80	хорошо good	оптимальный optimal	-1,25	-1,25	-1,25	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
		максимальный maximum	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
0,37-0,63	удовлетворительно satisfactorily	оптимальный optimal	-2,50	-2,50	-2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		максимальный maximum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,20-0,37	плохо poorly	оптимальный optimal	-3,75	-3,75	-3,75	-2,50	-2,50	-2,50	-2,50	-2,50
		максимальный maximum	-2,50	-2,50	-2,50	-2,50	-2,50	-2,50	-2,50	-2,50
0,00-0,20	очень плохо very bad	оптимальный optimal	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00
		максимальный maximum	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00

$$d_i = e^{-e^{-g_i}} \quad (3)$$

Пример: для 1-го параметра (фактора  $X_1$ ) частные функции желательности равны:

$$d_1 = e^{-e^0} = 0,37; d_2 = e^{-e^{1,25}} = 0,03; d_3 = e^{-e^{2,5}} = 0,00; d_4 = e^{-e^{3,75}} = 0,00; d_5 = e^{-e^5} = 0,00.$$

Остальные результаты сведены в таблицу 4. Обобщенная функция желательности:



Таблица 4

Table 4

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ЧАСТНЫХ И ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИЙ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ПРИ ВЫБОРЕ ФАКТОРОВ НА ОПТИМАЛЬНОМ И МАКСИМАЛЬНОМ УРОВНЯХ											
CALCULATION RESULTS OF SPECIFIC AND GENERALIZED DESIRABILITY FUNCTIONS WHEN CHOOSING FACTORS AT THE OPTIMAL AND MAXIMUM LEVELS											
№ п/п	Уровень Level	Частные функции желательности, $d_i$ Private functions of desirability, $d_i$								Обобщенная функция желательности $D_i$ Generalized desirability function $D_i$	Желательность Desirability
		$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$	$d_8$		
1	Оптимальный Optimal	0,37	0,37	0,37	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,68	хорошо good
	Максимальный Maximum	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	очень хорошо very good
2	Оптимальный Optimal	0,03	0,03	0,03	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,25	плохо badly
	Максимальный Maximum	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	очень хорошо very good
3	Оптимальный Optimal	0,00	0,00	0,00	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,00	очень плохо very bad
	Максимальный Maximum	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	удовлетворительно satisfactorily
4	Оптимальный Optimal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	очень плохо very bad
	Максимальный Maximum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	очень плохо very bad
5	Оптимальный Optimal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	очень плохо very bad
	Максимальный Maximum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	очень плохо very bad

$$D_i = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i} \quad (4)$$

Пример:

$$D_1 = \sqrt[8]{0,37 \cdot 0,37 \cdot 0,37 \cdot 0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,99} = 0,68.$$

Показатель  $D_i$  определяется как среднее геометрическое частных коэффициентов  $d_i$ . Результаты расчетов сведены в таблице 4. На основе анализа априорной информации и полученных результатов подтвердилась гипотеза о том, что сочетание первых трех факторов ( $x_1$ - $x_3$ : частота вращения высевающего диска, величина разрежения в вакуумной камере аппарата, положение подвижной части перегородки камер) на ос-

новном уровне, а оставшихся факторов ( $x_4$ - $x_8$ ) – на максимальном уровне диапазона варьирования при планировании многофакторного эксперимента по обобщенной функции показало результат «хорошо». Поэтому при проведении эксперимента рекомендуем применять план Бокса-Бенкена для трех факторов на трех уровнях ( $x_1$ - $x_3$ ), а факторы  $x_4$ - $x_8$  принять константой на максимальном уровне диапазона варьирования.

**Выводы.** Представили способ подготовки к проведению и последующей обработке результатов сложных исследований с применением суперкритерия. Подчеркнули необходимость цифровизации процесса планирования и организации научных экспериментов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Zubrilina E., Vysochkina L., Danilov M., Maliyev V. Design modification of seed distributor of pneumatic seeder for corn sowing. *Engineering for Rural Development*. 2017. Vol. 16. 772-778.
- Зубрилина Е.М., Чикильдин В.Н. Экспериментальные исследования высевающего аппарата с семяпроводом-ускорителем // *Достижения науки и техники АПК*. 2011. №2. С. 66-70.
- Лабскер Л.Г. К вопросу о математической формализации выбора коэффициентов обобщенного критерия Гурвица // *Управление риском*. 2009. №3(51). С. 4-62.
- Лабскер Л.Г. Обобщенный критерий пессимизма-оптимизма Гурвица // *Финансовая математика: коллективная*

- монография. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. 2001. С. 401-414.
- Беднова О.В. Использование функции желательности Харингтона для оптимизации многокритериальной оценки состояния лесных экосистем в условиях урбанизированной территории // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*. 2011. №7. С. 35-40.
- Щириков В.Н., Пархоменко Г.Г. Определение обобщенного критерия оценки технологического процесса мелкой обработки почвы // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2015. №2(12). С. 169-174.
- Кошурников А.Ф. Пунктирный посев пропашных культур

тур и формирование густоты насаждений. Пермь: ИПЦ «Прокрост». 2015. 218 с.

8. Маркво И.А., Зубрилина Е.М., Новиков В.И. Анализ тенденций развития и необходимых направлений модернизации в сфере производства сеялок точного высева с пневмосемяпроводами // *Вестник АПК Ставрополя*. 2018. N4(34). С. 18-25.

9. Лощаков П.А. Планирование и реализация многофакторного эксперимента – путь к повышению эффективности исследований // *Автомобильная промышленность*. 2015. N10. С. 32-35.

10. Паламарчук И.П., Полевода Ю.А. Дослідження основних факторів, що визначають процес вібровідцентрового розділення сирого гліцерину // *Праці Таврійського держав-*

*ного агротехнологічного університету*. 2012. Т. 12. N4. С. 26-33.

11. Несмиян А.Ю., Ценч Ю.С. Тенденции и перспективы развития отечественной техники для посева зерновых культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N3. С. 45-52.

12. Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С., Квас С.А. Технология комбинированного способа посева и высевающие аппараты для его осуществления // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N4(33). С. 61-65.

13. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevsky Ya.P., Mazitov N.K., Rakhimov R.S., Khamaletdinov R.R., Rakhimov I.R., Farkhutdinov I.M., Mukhametdinov A.M., Gareev R.T. Modeling the technological process of tillage. *Soil and Tillage Research*. 2019 Vol. 190. 70-77.

### REFERENCES

1. Zubrilina E., Vysochkina L., Danilov M., Maliyev V. Design modification of seed distributor of pneumatic seeder for corn sowing. *Engineering for Rural Development*. 2017. Vol. 16. 772-778 (In English).

2. Zubrilina E.M., Chikil'din V.N. Eksperimental'nye issledovaniya vysewayushchego apparata s semyaprovodom-uskoritelem [Experimental studies of a seeding unit with a seed tube-accelerator]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2011. N2. 66-70 (In Russian).

3. Labsker L.G. K voprosu o matematicheskoy formalizatsii vybora koeffitsiyentov obobshchennogo kriteriya [On mathematical formalization of choosing the coefficients of the generalized Hurwitz criterion]. *Upravleniye riskom*. 2009. N3(51). 4-62 (In Russian).

4. Labsker L.G. Obobshchennyy kriteriy pessimizma-optimizma Gurvitsa [The generalized Hurwitz criterion of pessimism-optimism]. *Finansovaya matematika: kolektivnaya monografiya*. Moscow: MGU im. M.V. Lomonosova. 2001. 401-414 (In Russian).

5. Bednova O.V. Ispol'zovanie funktsii zhelatel'nosti Kharingtona dlya optimizatsii mnogokriterial'noy otsenki sostoyaniya lesnykh ekosistem v usloviyakh urbanizirovannoy territorii [The use of the Harington desirability function to optimize a multi-criteria assessment of the forest ecosystem state in urbanized areas]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*. 2011. N7. 35-40 (In Russian).

6. Shchirov V.N., Parkhomenko G.G. Opredeleniye obobshchennogo kriteriya otsenki tekhnologicheskogo protsessa melkoy obrabotki pochvy [Definition of a generalized criterion for assessing the technological process of surface tillage]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2015. N2(12). 169-174 (In Russian).

7. Koshurnikov A.F. Punktirnyy posev propashnykh kul'tur i formirovaniye gustomy nasazhdeniy [Dotted sowing of row crops and planting formation: monograph]. Perm': IPTS "Prokrost". 2015. 218 (In Russian).

8. Markvo I.A., Zubrilina E.M., Novikov V.I. Analiz tendentsiy razvitiya i neobkhodimyykh napravleniy modernizatsii v sfere proizvodstva seyalok tochnogo vyseva s pnevmosemyaprovodami [Analysis of development trends and the necessary modernization areas in the field of production of precision seeding drills with pneumatic diaphragms]. *Vestnik APK Stavropol'ya*. 2018. N4(34). 18-25 (In Russian).

9. Loshchakov P.A. Planirovaniye i realizatsiya mnogofaktor-nogo eksperimenta – put' k povysheniyu effektivnosti issledovaniy [Planning and implementation of a multifactor experiment - a way of improving research efficiency]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2015. N10. 32-35 (In Russian).

10. Palamarchuk I.P., Polevoda Yu.A. Doslidzhennya osnovnykh faktoriv, shcho viznachayut' protses vibrovidsentrovogo rozdilen-nya sirogo glitserinu [Planning of multivariable experiment for studying the vibrocentrifugal separation of crude glycerin]. *Pratsi Tavriys'kogo derzhavnogo agrotekhnologichnogo univ-ersitetu*. 2012. Vol. 12. N4. 26-33 (In Ukrainian).

11. Nesmiyan A.Yu., Tsench Yu.S. Tendentsii i perspektivy razvitiya otechestvennoy tekhniki dlya poseva zernovykh kul'tur [Trends and prospects of development of domestic equipment for sowing grain crops]. *Sel'skohozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Т. 12. N3. 45-52 (In Russian).

12. Ahalaya B.H., Tsench Yu.S., Kvas S.A. Tekhnologiya kombinirovannogo sposoba poseva i vysewayushchie apparaty dlya ego osushchestvleniya [Technology of the combined method of sowing and sowing machines for its implementation]. *Vestnik VIESH*. 2018. N4(33). 61-65 (In Russian).

13. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevskiy Ya.P., Mazitov N.K., Rakhimov R.S., Khamaletdinov R.R., Rakhimov I.R., Farkhutdinov I.M., Mukhametdinov A.M., Gareev R.T. Modeling the technological process of tillage. *Soil and Tillage Research*. 2019 Vol. 190. 70-77 (In English).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 10.04.2019**  
**The paper was submitted**  
**to the Editorial Office on 10.04.2019**

**Статья принята к публикации 02.06.2019**  
**The paper was accepted**  
**for publication on 02.06.2019**



## Определение качества работы зерноуборочных комбайнов

**Михаил Евгеньевич Чаплыгин,**  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
e-mail: misha2728@yandex.ru;

**Эдуард Викторович Жалнин,**  
доктор технических наук, профессор,  
главный научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Современные методы контроля оценки качества работы зерноуборочных комбайнов во время испытаний осуществляются в режиме «укладка в валок». Показали актуальность аналогичной оценки в наиболее распространенном режиме «измельчение – разбрасывание» и разработки простого и надежного метода и технического средства для оценки потерь зерна в поле при работе комбайна. (*Цель исследования*) Разработать метод контроля потерь зерна за комбайном, работающим в режиме «измельчение – разбрасывание», с использованием опытного образца двухкамерного пробоотборника. (*Материалы и методы*) Предложили новую конструкцию опытного образца двухкамерного пробоотборника. Определили, что он обеспечивает отдельный сбор потерь зерна, допускаемых рабочими органами комбайна. Применили схему расстановки в поле ограниченного числа пробоотборников. Разработали метод отбора проб потерь зерна за рабочими органами комбайна с использованием разработанного пробоотборника. Применяемый метод контроля состоял в оценке результатов апробирования опытного образца двухкамерного пробоотборника на испытаниях зерноуборочного комбайна в режиме «измельчение – разбрасывание». (*Результаты и обсуждение*) Создали опытный образец двухкамерного пробоотборника, имеющего принципиально новую конструкцию. Предложили метод определения качества работы зерноуборочного комбайна. Получили графики распределения потерь зерна по ширине молотильно-сепарирующего устройства и по ширине разбрасывания, равной захвату жатки. (*Выводы*) Установили, что внедрение двухкамерного пробоотборника позволит проводить отдельный отбор проб последовательно за жаткой, молотилкой и измельчителем-разбрасывателем при исключении последовательного наложения погрешностей. Выявили, что предложенная схема отбора проб потерь зерна за рабочими органами комбайна обеспечит сокращение общего числа применяемых пробоотборников – не более 7 в каждой повторности независимо от ширины молотильно-сепарирующего устройства или жатки.

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн, потери зерна при уборке, ширина захвата жатки, двухкамерный пробоотборник, измельчитель-разбрасыватель соломы, испытания зерноуборочных комбайнов.

■ **Для цитирования:** Чаплыгин М.Е., Жалнин Э.В. Определение качества работы зерноуборочных комбайнов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №4. С. 71-76. DOI 10.22314.2073-7599-2019-13-4-71-76.

## Determining the Performance Quality of Combine Harvesters Operating

**Mikhail E. Chaplygin,**  
Ph.D.(Eng.), senior research engineer,  
e-mail: misha2728@yandex.ru;

**Eduard V. Zhalnin<sup>2</sup>,**  
Dr.Sc.(Eng.), professor,  
chief research engineer

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** Modern methods of monitoring the performance quality of combine harvesters during their testing are applied in a «swath laying» mode. The authors have shown the relevance of a similar assessment method used in the most common “crushing-and-spreading” mode and developed a simple and reliable method and a technical tool for assessing grain losses in the field during the combine harvester operation. (*Research purpose*) To develop a method for controlling grain loss of a combine harvester operating in a “chopping-and-spreading” mode using a two-chamber sampler prototype. (*Materials and methods*) The authors have proposed a new design of the prototype of a two-chamber sampler. They have proved that it ensures separate collection of the lost grain resulting from combine harvester units. A limited number of samplers were installed in the field and a method for sampling grain losses from working units of a combine harvester based on the developed sampler was applied. The applied method of control consists in evaluating the test results of a two-chamber sampler prototype during a combine harvester test in a

«chopping-and-spreading» mode. (*Results and discussion*) The authors have developed the prototype of a two-chamber sampler of a fundamentally new design. They offer a method for determining the performance quality of a combine harvester. They have obtained graphs of grain losses distribution across the width of a threshing-and-separating unit and the spreading width equal to the operating width of a header. (*Conclusion*) It has been established that the use of a two-chamber sampler will ensure separate sequential sampling behind a header, a threshing unit, and a chopping spreader, while excluding sequential overlapping of errors. It has been revealed that the proposed scheme for sampling a grain losses resulting from the working units of a combine harvester will reduce the total number of samplers used - no more than 7 in each replication, regardless of the width of a threshing-and-separating unit or a header.

**Keywords:** combine harvester, grain losses observed during harvesting, operating width of a header, two-chamber sampler, chopping spreader of straw, tests of combine harvesters.

**For citation:** Chaplygin M.E., Zhalnin E.V. *Opreделение kachestva raboty zernouborochnykh kombaynov* [Determining the performance quality of combine harvesters operating]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 71-76 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-71-76.

Современные методы контроля оценки качества работы зерноуборочных комбайнов во время испытаний осуществляются в режиме «укладка в валок». Контроль качества работы в наиболее распространенном режиме «измельчение – разбрасывание» позволяет оценить потребительские свойства комбайна.

Согласно ГОСТ 28301-2015, при оценке потерь зерна в зоне прохода корпуса комбайна пробы отбирают в пробоотборники, установленные за жаткой движущегося комбайна и далее – за молотильно-сепарирующим устройством (МСУ) [1, 2]. Потери за МСУ определяют вычитаем потерь за жаткой из полученного суммарного значения. Однако высокая вариабельность потерь за жаткой по направлению прохода комбайна повышает погрешность определения потерь через МСУ [3-7]. Для повышения точности целесообразно прямое измерение потерь через МСУ по результатам непосредственного (отдельного) отбора проб за МСУ. Тем более что допустимые значения потерь за жаткой и МСУ регламентированы отдельно (соответственно 0,5 и 1,5%), и жатка является отдельным, самостоятельным объектом испытаний [8-11]. Для отбора потерь через измельчитель можно размещать пробоотборники сразу после прохода жатки (при оценках вне полосы прохода корпуса комбайна) и сразу после прохода задних колес комбайна – в полосе прохода корпуса комбайна. Однако промежуток времени между проходом жатки и проходом измельчителя-разбрасывателя (с поступлением на высокой скорости травмоопасных измельченных продуктов обмолота) небольшой – несколько секунд, что затрудняет практическое применение указанных способов.

**Цель исследования** – разработать метод контроля потерь зерна за комбайном, работающим в режиме «измельчение – разбрасывание», с использованием опытного образца двухкамерного пробоотборника.

**Материалы и методы.** До прохода комбайна двухкамерные переключаемые пробоотборники нового

типа установили в хлебостой. Принцип их действия заключается в том, что первая приемная камера изначально открыта на прием потерь при проходе жатки. После прохода жатки первая камера перекрывается. Одновременно открывается вторая приемная камера, куда поступают потери от МСУ, то есть после очистки, а затем на выходе из измельчителя. За пределами прохода корпуса комбайна в первую приемную камеру поступают потери от жатки, во вторую – потери, прошедшие через измельчитель. Из вышеизложенного следует, что раздельный (за каждым рабочим органом комбайна) отбор проб потерь имеет несколько преимуществ:

- исключение наложения погрешностей при вычитании значений потерь, собранных в одну емкость после прохождения через рабочие органы;

- закономерное распределение потерь по ширине МСУ и по ширине разбрасывания, что позволит установить меньше пробоотборников и упростить процесс оценки потерь зерна при испытаниях комбайна.

**Результаты и обсуждение.** *Схема расположения и число устанавливаемых пробоотборников для определения потерь зерна.* В полосе прохода корпуса комбайна рекомендуется устанавливать два пробоотборника симметрично оси прохода комбайна на расстоянии 0,6 ширины МСУ (Патент РФ №2617349) и два пробоотборника в зоне разбрасывания, за пределами прохода корпуса и колес комбайна на расстоянии 0,54 ширины жатки (*рис. 1*).

Важно отметить, что двухкамерные пробоотборники установлены в зонах средних значений распределения потерь. Как и в стандартизованном методе отбора потерь, предусмотрено не менее трех повторностей опыта, что обеспечивает получение достоверных результатов. Расположение пробоотборников по оси прохода комбайна необходимо для нахождения аппроксимирующих кривых как для оценки потерь очисткой, так и для оценки потерь через разбрасыватель.



Рассмотрим порядок отбора проб с применением двухкамерных пробоотборников.

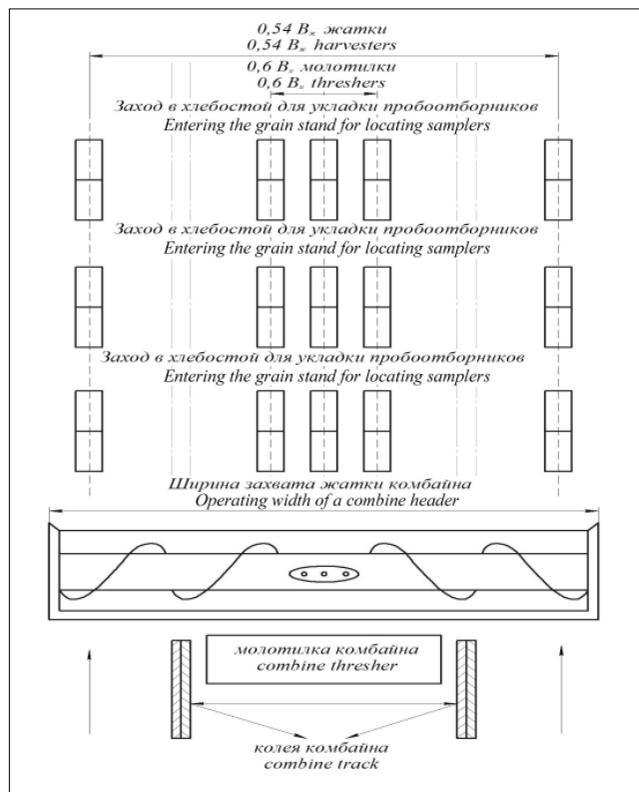


Рис. 1. Схема расстановки двухкамерных пробоотборников для отбора проб в трехкратной повторности  
Fig. 1. Plan of arranging two-chamber samplers for triplicate sampling

При установке в междурядья перед проходом жатки оставляют открытой одну из камер пробоотборников 1 и 5, а у пробоотборников 2, 3 и 4 обе камеры закрыты (рис. 2).

После прохода жатки и поступления потерь в открытые камеры пробоотборников 1 и 5 закрываются.

Положение камер пробоотборников по стадиям прохода комбайна Position of sampler chambers according to the stages of combine runs	Зоны потерь Zones of losses				
	Левая Left	Зона прохода корпуса комбайна Zone of the combine case run			Правая Right
	Номер пробоотборника Sampler number				
При установке (до прохода комбайна) At installation (before the combine run)	Ж				Ж
Перед выходом потерь из очистки Before the coming out of losses from the cleaning system	Потери не поступают Losses do not come out	О	О	О	Потери не поступают Losses do not come out
Перед выходом потерь из измельчителя-разбрасывателя Before the coming out of losses from a chopping spreader	И-Р	И-Р	И-Р	И-Р	И-Р

Рис. 2. Схема отбора проб двухкамерными пробоотборниками: Ж – жатка; О – очистка; И-Р – измельчитель-разбрасыватель  
Fig. 2. Sampling pattern based on two-chamber samplers: Ж – header; О – cleaning; И-Р – chopping spreader

Одновременно открываются свободные камеры этих пробоотборников.

У пробоотборников 2, 3 и 4 открывают первые камеры. После приема потерь от очистки их закрывают. Одновременно открывают свободные камеры для приема потерь от измельчителя-разбрасывателя. От измельчителя-разбрасывателя потери зерна поступают в свободные камеры всех пробоотборников (1, 2, 3, 4 и 5).

После прохода измельчителя-разбрасывателя продукты обмолота извлекают из каждой камеры в отдельности, отделяют зерно от примесей, взвешивают и фиксируют результаты в журнале.

Порядок определения показателей потерь. Потери за жаткой в каждой повторности определим путем отбора проб и нахождения их среднего значения из камер пробоотборников Ж1 и Ж5 (рис. 2).

По результатам отбора проб потерь зерна и их взвешивания можно найти среднее арифметическое значение потерь:  $\bar{P}_{ж}$ , г:  $\bar{P}_{ж} = \bar{P}_{ж1} + \bar{P}_{ж5}$ .

Общие потери,  $P_{ж}$ , г, за жаткой вычислим по формуле:

$$P_{жс} = \frac{\bar{P}_{жс}}{v_{пр}} \cdot B_{жс},$$

где  $v_{пр}$  – ширина пробоотборника, м;

$B_{жс}$  – ширина захвата жатки, м.

Чтобы найти общие потери при прохождении МСУ, суммируем потери зерна за очисткой и после измельчителя-разбрасывателя. Расположение пробоотборников 2, 3 и 4 по ширине МСУ обозначены на графике точками (рис. 3). Нулевому значению на оси x соответствует левый край корпуса комбайна или ширины молотилки.

Подставляя в уравнение аппроксимирующей кривой значения точек, соответствующих серединам интервалов по шкале x, получаем 6-8 значений потерь

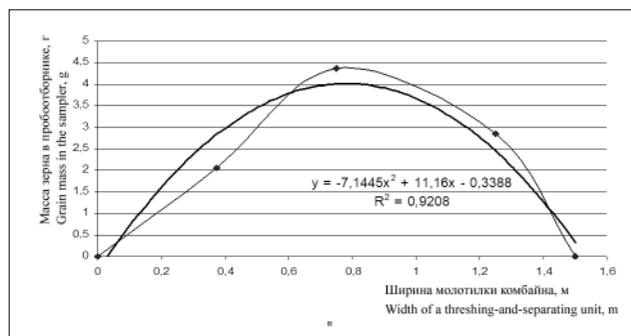


Рис. 3. Распределение потерь зерна по ширине молотильно-сепарирующего устройства

Fig. 3. Distribution of grain losses across the width of a threshing-and-separating unit

зерна по ширине МСУ, для которых вычислим среднее

$$\bar{P}_o = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n},$$

где  $P_i$  – значения потерь зерна в  $i$ -ой точке по ширине молотилки, г;

$n$  – принятое число точек (6-8).

Затем вычислим массу потерь после ветро-решетной очистки,  $P_o$ , г:

$$P_o = \frac{\bar{P}_o}{\epsilon_{np}} \cdot B_{MCV},$$

где  $B_{MCV}$  – ширина молотильно-сепарирующего устройства, м.

По результатам отбора проб потерь зерна и их взвешивания определим удельную массу потерь от воздушно-решетной очистки в расчете на 1 м ширины захвата жатки,  $q_o$ , г/м:

$$q_o = \frac{P_o}{B_{ж}}$$

Чтобы вычислить потери зерна при прохождении через измельчитель-разбрасыватель, пробоотборники располагают по ширине разбрасывания (жатки). Нулевая точка отсчета горизонтальной шкалы соответствует левому краю хлебостоя (рис. 4). Потери в каждой повторности ( $P_p$ ) определяют по результатам учетного прохода комбайна путем нахождения их значений в камерах пяти пробоотборников ( $P_1$ - $P_5$ ).

Подставляя значения точек, соответствующих серединам интервалов, в уравнение аппроксимирующей кривой, получаем семь значений потерь зерна че-

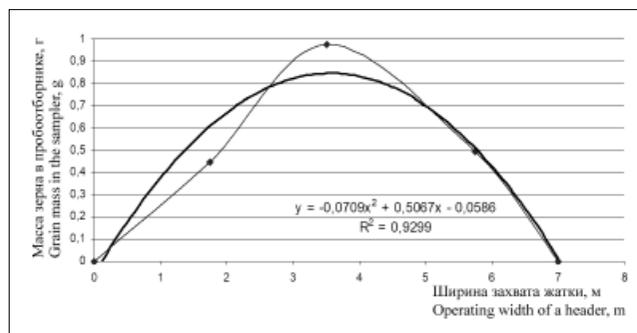


Рис. 4. Распределение потерь зерна по ширине разбрасывания (захвата жатки)

Fig. 4. Distribution of grain losses along the spreading width (the operating width of a header)

рез разбрасыватель по ширине жатки.

Найдем среднее значение потерь через измельчитель-разбрасыватель на каждом метре ширины жатки,  $\bar{P}_p$ , г:

$$\bar{P}_p = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p_i}}{n_i},$$

где  $P_{p_i}$  – значения потерь в  $i$ -ой точке, г;

$n_i$  – принятое число точек.

Определим потери за измельчителем-разбрасывателем,  $P_p$ , г:

$$P_p = \frac{\bar{P}_p}{\epsilon_{np}} \cdot B_{ж}$$

Общие потери за молотилкой комбайна в каждой повторности равны:  $P_{MCV} = P_o + P_p$ .

Тогда суммарные потери за жаткой и МСУ составляют:  $P_{общ} = P_{ж} + P_{MCV}$ .

Вычислим удельную массу потерь зерна в расчете на единицу площади для жатки и МСУ, г/м<sup>2</sup>:

$$q_{yd}^{ж} = \frac{P_{ж}}{L_{np} \cdot B_{ж}};$$

$$q_{yd}^{MCV} = \frac{P_{MCV}}{L_{np} \cdot B_{MCV}},$$

где  $L_{np}$  – длина пробоотборника, м.

Суммируя эти значения, найдем удельную массу потерь за комбайном, г/м<sup>2</sup>:

$$q_{yd} = q_{yd}^{ж} + q_{yd}^{MCV}.$$

Массовая доля соответствующих потерь в пересчете на урожайность составит:

$$\Delta q_{ж} = \frac{10^3 \cdot q_{yd}^{ж}}{Y_3};$$

$$\Delta q_{MCV} = \frac{10^3 \cdot q_{yd}^{MCV}}{Y_3},$$

где  $Y_3$  – урожайность зерна, т/га.

Устройство для раздельного сбора потерь зерна, допускаемых составными частями зерноуборочного комбайна. Разработанный двухкамерный пробоотборник (далее пробоотборник) для сбора потерь зерна (Патент РФ №171483) содержит следующие конструктивные элементы (рис. 5). Корпус выполнен в виде цилиндрической пластиковой трубы диаметром 100 мм. Сверху вырезаны два прямоугольных окна одинаковой длины, предназначенные для сбора потерь (за жаткой и МСУ).

Пробозаборные окна изолированы друг от друга в средней части цилиндрической пластиковой перегородкой, а с краев – цилиндрическими пластиковыми заглушками, соединенными с корпусом посредством клея и шурупов.

Над прямоугольным окном с возможностью перемещения вдоль корпуса установлена сферическая крышка, длина которой превышает длину одного окна. С одного конца сферической крышки с внутренней стороны закреплен конец пружины растяжения. Второй конец проходит через вырезанное сверху в пластиковой перегородке отверстие. Оба конца крепятся к цилиндрическим пластиковым заглушкам кронштейнами. Сферическая крышка с пазами перемещается вдоль корпуса по штифтам, запрессованным в отверстия корпуса. На штифтах установлены поддерживающие планки, зафиксированные двумя

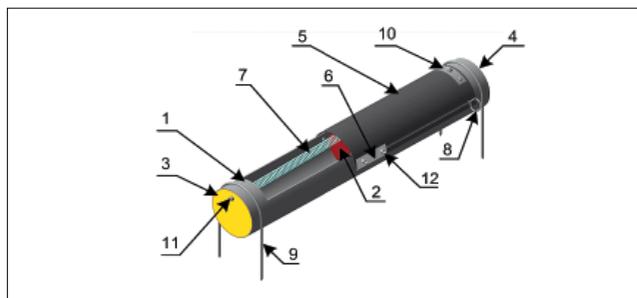


Рис. 5. Общий вид двухкамерного пробоотборника

1 – корпус; 2 – цилиндрическая пластиковая перегородка; 3, 4 – цилиндрическая пластиковая заглушка; 5 – сферическая крышка; 6 – поддерживающие планки; 7 – пружина; 8 – фиксирующая шпилька; 9 – металлические штыри; 10, 11 – кронштейны; 12 – штифты

Fig. 5. General view of a two-chamber sampler

1 – a case, 2 – a cylindrical plastic partition, 3, 4 – a cylindrical plastic cap, 5 – a spherical cover, 6 – supporting levels, 7 – a spring, 8 – a fixing stud, 9 – metal plugs, 10, 11 – arms, 12 – pins

гайками с зазором таким образом, чтобы сферическая крышка могла свободно перемещаться под действием пружины. Металлические штыри в виде полукруглых скоб предназначены для фиксации пробоотборника на поверхности.

Технологический процесс сбора потерь зерна предлагаемым пробоотборником за зерноуборочным комбайном заключается в следующем.

До прохода комбайна пробоотборник устанавливают в междурядье хлебостоя в направлении движения от открытого к закрытому окну вне зоны прохода колес и закрепляют по краям полукруглыми металлическими штырями, вдавливая их в грунт (рис. 6).

Преодолевая усилие растяжения пружины, крышку переводят в крайнее положение, противоположное заглушке, и фиксируют ее с помощью шпильки.

Шнур от шпильки располагают на поверхности земли, крайний свободный конец выводят на скошенный хлебостой (за пределы ширины предстоящего прохода жатки комбайна).

При проходе комбайна над установленным пробоотборником в его открытую половину просыпаются потери зерна от жатки. Окно остается открытым до того момента, пока жатка полностью не пройдет над устройством.



Рис. 6. Пробоотборник в междурядье озимой пшеницы  
а – с закрепленными металлическими фиксирующими штырями; б – с открытым вторым отсеком, наполненным потерями от молотилки

Fig. 6. A sampler located in a row-spacing of winter wheat  
a – with fixing metal plugs; b – with an open second compartment filled with losses coming from a threshing-and-separating unit

После прохода режущего аппарата жатки с помощью шнура фиксирующую шпильку выдергивают. Под действием пружины сферическая крышка перемещается в противоположную сторону, перекрывая сверху первый отсек, содержащий потери за жаткой, и открывает второй отсек для приема потерь за МСУ.

После прохода комбайна и заполнения второго отсека из обоих отсеков пробоотборника поочередно извлекают потери в разные емкости, очищают, взвешивают и определяют массовую долю потерь зерна за жаткой и МСУ для последующего сравнения с допустимыми значениями потерь.

**Выводы.** Разработанный двухкамерный переключаемый пробоотборник, устанавливаемый в междурядье хлебостоя до прохода комбайна, обеспечивает отдельный отбор проб последовательно за жаткой и измельчителем-разбрасывателем или за ветро-решетной очисткой и измельчителем-разбрасывателем, исключая наложение погрешностей.

Предложенная схема отбора проб потерь зерна рабочими органами комбайна дает возможность применять ограниченное число пробоотборников – не более 7 в каждой повторности, независимо от ширины МС или жатки (разбрасывания).

При испытаниях жаток или комбайнов в условиях одного поля с целью получения наиболее достоверных оценок потерь целесообразно выполнение заведомо большего числа повторностей с последующим исключением наименьшего и наибольшего значений.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чаплыгин М.Е. Определение качества работы зерноуборочных комбайнов при испытаниях с применением резиновых пробоотборников // *Техника и оборудование для села.* 2016. №11. С. 16-18.
2. Чаплыгин М.Е., Бондаренко Е.В., Белик М.А. Уборка на отлично // *Агробизнес.* 2014. №6. С. 82-84.
3. Чаплыгин М.Е., Белик М.А. Качество измельчения и распределения листостебельной массы при уборке кукурузы на зерно // *Техника и оборудование для села.* 2014. №2.

С. 27-29.

4. Скорляков В.И. Совершенствование оценок зерноуборочных комбайнов с измельчителями соломы // *Техника и оборудование для села.* 2015. №11. С. 15-18.
5. Васильев Д.И. Оперативный контроль потерь зерна за комбайнами // *Технологии и комплексы машин для уборки зерновых культур и семенников трав в Сибири.* Новосибирск. 1989. С. 34-38.
6. Артемов В.Е. О снижении механического травмирования

ния комбайнами // *Тракторы и сельхозмашины*. 2014. №6. С. 28-30.

7. Пугачев А.Н. Контроль качества уборки зерновых культур. М.: Колос. 1980. 255 с.

8. Ерохин Г.Н., Саяпин В.А., Жданов В.Н. Оценка методов определения потерь зерна за молотилкой зерноуборочных комбайнов в условиях реальной эксплуатации // *Механизация и автоматизация технологических процессов в агропромышленном комплексе*. 1989. Ч. 4. С. 58.

9. Жалнин Э.В. Стратегия перспективного развития механизации уборки зерновых культур // *Тракторы и сельхозмашины*. 2004. №9. С. 3-16.

10. Пляка В.И. Методика определения показателей качества работы молотилки зерноуборочного комбайна // *Развитие механизации растениеводства и животноводства*. МГАУ. 2000. С. 70-71.

11. Жалнин Э.В., Ценч Ю.С., Пьянов В.С. Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №2. С. 4-8.

### REFERENCES

1. Chaplygin M.E. Opredelenie kachestva raboty zernoubo-rochnykh kombaynov pri ispytaniyakh s primeneniem rezi-nyovykh probootbornikov [Determining the performance quality of combine harvesters in tests based on rubber samplers]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2016. N11. 16-18 (In Russian).

2. Chaplygin M.E., Bondarenko E.V., Belik M.A. Uborka na otlichno [Excellent harvesting results]. *Agrobiznes*. 2014. №6. 82-84 (In Russian).

3. Chaplygin M.E., Belik M.A. Kachestvo izmel'cheniya i raspredeleniya listostebel'noy massy pri uborke kukuruzy na zerno [Quality of leaf-stem mass chopping and spreading when harvesting corn for grain]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2014. N2. 27-29 (In Russian).

4. Skorlyakov V.I. Sovershenstvovanie otsenok zernoubo-rochnykh kombaynov s izmel'chitelyami solomy [Improving the performance estimates of combine harvesters equipped with straw choppers]. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2015. N11. 15-18 (In Russian).

5. Vasil'ev D.I. Operativnyy kontrol' poter' zerna za kombay-nami [Operational control of grain losses resulting from combine harvesters]. *Tekhnologii i komplekсы mashin dlya uborki zernovykh kul'tur i semennikov trav v Sibiri*. Novosibirsk. 1989. 34-38 (In Russian).

6. Artemov V.E. O snizhenii mekhanicheskogo travmirovani-ya kombaynami [On ways of reducing mechanical injuries from combine harvesters]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2014. №6. 28-30 (In Russian).

7. Pugachev A.N. Kontrol' kachestva uborki zernovykh kul'tur [Quality control of grain harvesting]. Moscow: Kolos. 1980. 255 (In Russian).

8. Erokhin G.N., Sayapin V.A., Zhdanov V.N. Otsenka met-odov opredeleniya poter' zerna za molotilkoy zernoubo-rochnykh kombaynov v usloviyakh real'noy ekspluatatsii [Evaluation of methods for determining grain losses resulting from the actual operation of combine harvester threshers]. *Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov v agropromysh-lennom komplekse*. 1989. Part 4. 58 (In Russian).

9. Zhalnin E.V. Strategiya perspektivnogo razvitiya mekhani-zatsii uborki zernovykh kul'tur [Strategy for further develop-ment of grain harvesting mechanization]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2004. №9. 3-16 (In Russian).

10. Plyaka V.I. Metodika opredeleniya pokazateley kachestva raboty molotilki zernoubo-rochnogo kombayna [Methodology for determining quality indicators of the operation of a combine harvester thresher]. *Razvitie mekhanizatsii rasteniyevodstva i zhivotnovodstva*. MGAU. 2000. 70-71 (In Russian).

11. Zhalnin E.V., Tsench Yu.S., P'yanov V.S. Metodika analiza tekhnicheskogo urovnya zernoubo-rochnykh kombaynov po funktsional'nym i konstruktivnym parametram [Methods of analysis of the technical level of combine harvesters on functional and structural parameters]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N2. 4-8 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии кон-фликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 03.04.2019**  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 03.04.2019

**Статья принята к публикации 25.05.2019**  
The paper was accepted  
for publication on 25.05.2019